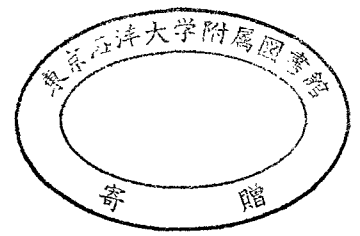


# パレットレンタルシステムにおける輸送ネットワーク形態の特徴に関する研究

著者	松山 健太郎
学位授与機関	東京商船大学
学位授与年度	2004
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00000862/">http://id.nii.ac.jp/1342/00000862/</a>



# 修 士 学 位 論 文

## パレットレンタルシステムにおける 輸送ネットワーク形態の特徴に関する研究

平成16年度

東京海洋大学  
商船学研究科  
流通情報工学専攻

松山健太郎

1. 序論 .....	1
1. 1 研究背景 .....	1
1. 2 研究目的 .....	2
1. 3 従来の研究 .....	4
1. 4 論文構成 .....	4
2. パレットレンタルシステムの現状 .....	5
2. 1 一貫パレチゼーションについて .....	5
2. 1. 1 一貫パレチゼーションとは .....	5
2. 1. 2 利点 .....	5
2. 1. 3 問題点、阻害要因 .....	5
2. 2 パレットプールシステムと四つの方式 .....	6
2. 2. 1 パレットプールシステムとは .....	6
2. 2. 2 四つのパレットプール方式 .....	6
2. 3 パレットレンタルシステムについて .....	8
2. 3. 1 パレットレンタルシステムとは .....	8
2. 3. 2 パレットレンタル事業内容 .....	8
2. 3. 3 パレット回収システム .....	8
2. 3. 4 レンタルパレットの商品類 .....	10
2. 3. 5 レンタル料金システム .....	12
2. 3. 6 P研（T11型レンタルパレット共同利用推進会） .....	12
2. 3. 7 デポ立地 <sup>[2,3]</sup> .....	13
2. 3. 8 その他の事業 .....	13
3 立地計画モデル .....	14
3. 1 数理計画法と施設立地問題 <sup>[3.1][3.2][3.3]</sup> .....	14
3. 1. 1 数理計画法 .....	14
3. 1. 2 混合整数計画法 .....	14
3. 2 複数デポのモデル化 .....	15
3. 2. 1 複数デポにおける施設立地とパレット流動の表現 .....	15
3. 2. 2 目的関数の定式化 .....	17
3. 2. 3 制約条件 .....	27
4. 施設の数及び規模の検討 .....	32
4. 1 入力データの設定 .....	32
4. 1. 1 「輸送（リンク）に関する入力データ」 .....	32
4. 1. 2 「拠点（ノード、需要地も含む）に関する入力データ」 .....	35
4. 2 計算結果及び検討項目の抽出 .....	40

4. 2. 1 計算結果.....	40
4. 2. 2 検討項目の抽出.....	46
4. 3 全デポの生産能力と限界輸送可能距離を変化させた場合の検討.....	47
4. 3. 1 データ設定.....	47
4. 3. 2 計算結果と検討.....	47
4. 3. 3 感度分析の検討と新たな問題点.....	50
4. 4 改善案の検討.....	53
4. 4. 1 改善案の入力データ設定.....	53
4. 4. 2 改善案と初期データの計算結果の比較検討.....	53
4. 4. 4 改善案の考察.....	56
4. 5 輸送ネットワークについての検討.....	58
4. 5. 1 モデル、データの設定.....	58
4. 5. 2 計算結果.....	58
4. 5. 3 検討結果の考察.....	61
5. 結論.....	63
5. 1 まとめ.....	63
5. 2 今後の課題.....	64
謝辞.....	65
参考文献.....	66



## 1. 序論

### 1. 1 研究背景

世界経済のグローバル化、情報化が一層進展する中、国際的に魅力ある生活・産業競争力の強化に向けた効率的な物流基盤の構築が必要とされ、更には環境問題の深刻化、循環型社会の構築等、社会的課題への対応が物流に求められている。このような状況の中、平成 13 年 7 月に新総合物流施策大綱が閣議決定され、国内物流・国際物流それぞれについて、リードタイムの短縮、定時性の確保等の利便性の向上及びコストの低減に向けた施策の方向性が示された。特に、物流作業の効率化及び高齢者や女性にも適した作業環境の整備では、一貫パレチゼーションを中心としたユニットロード化を進展させる必要があると明言されている。

また、我が国は、エネルギー資源の 80%を海外に依存している他、国土が狭隘なため諸外国に比べてエネルギー・コストと地価が割高であり、更には、人件費も割高である。そのため、物流活動に必要な基本的な経営資源の調達において諸外国に比べて不利な状況にあり、高コスト構造となっている。従って、物を運ぶ仕組みの工夫による効率化が求められており、この仕組みとしてユニットロード化の進展に期待するところは大きい<sup>[1.1]</sup>。

具体的な数値目標として、平成 17 年までにパレタイズ可能貨物のパレット化率を現状の 7 割から 9 割に、標準パレット化率を現状の 4 割から 6 割に引き上げる目標値が掲げられている<sup>[1.2]</sup>。

以上のように一貫パレチゼーションを中心としたユニットロード化の進展には、多くの利点が存在する。しかし、その導入の阻害要因には、管理面では、流出・紛失パレットの発生、空パレットの回送等があり、作業面では、導入したパレットの規格と荷役機器や保管設備の不整合が存在する。また、荷役作業の効率化等を図るためには、パレットの規格統一が必要であるが、ビール産業等の特定の産業のみの規格や欧州、アメリカ、アジアといった地域毎に異なる標準規格が存在している問題もある<sup>[1.3] [1.4]</sup>。

## 1. 2 研究目的

ユニットロード化の阻害要因を取り除くための対策として、規格の統一されたパレットを広範囲の企業間で共同利用する「パレットプールシステム」があり、代表的なシステムにパレットレンタルシステムがある。パレットレンタルシステムはパレットの直接管理は荷主（ユーザー）が行わなくて済み、J I S規格パレットの普及促進や公平なコスト分担システムの構築が容易である等の利点を持つ。概要は図 1.1 に示す。利用者は、必要なときに最寄りのデポから必要な枚数だけパレットを借り、不要になったときに最寄りのデポに返却するといった方式である。

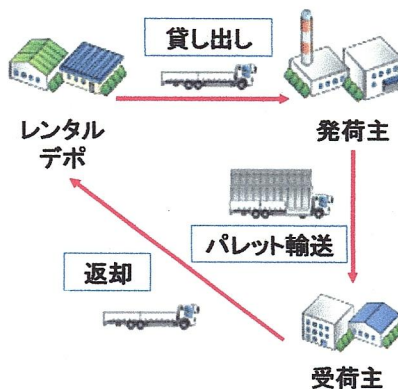


図 1.1 パレットレンタルシステムの概要

そこで、本研究では物流の効率化や作業環境の改善に資するものと期待されている一貫パレチゼーションを中心としたユニットロード化の促進を図るために、パレットレンタルシステムの運営改善によるパレットの利用促進を目指す。

しかし、公的機関、各研究所の報告書やメディア等の調査ではパレットレンタルシステムが利用されない理由として、パレット料金が割高である、貨物をパレタイズとして扱う情報システムの構築、同様にパレタイズ化したときのコスト管理が困難である等が挙げられている。その中でも「パレット料金の割高」が第一に挙げられており、レンタル料金の低廉化が迫られている [1.4] [1.5] [1.6] [1.7]。

パレットレンタルシステムにおける改善課題の全体像を図 1.2 に示す。

図 1.2 はパレットレンタルシステムにおけるロジスティクスシステムをネットワーク（計画対象範囲）と期間（計画対象期間）でとらえる。

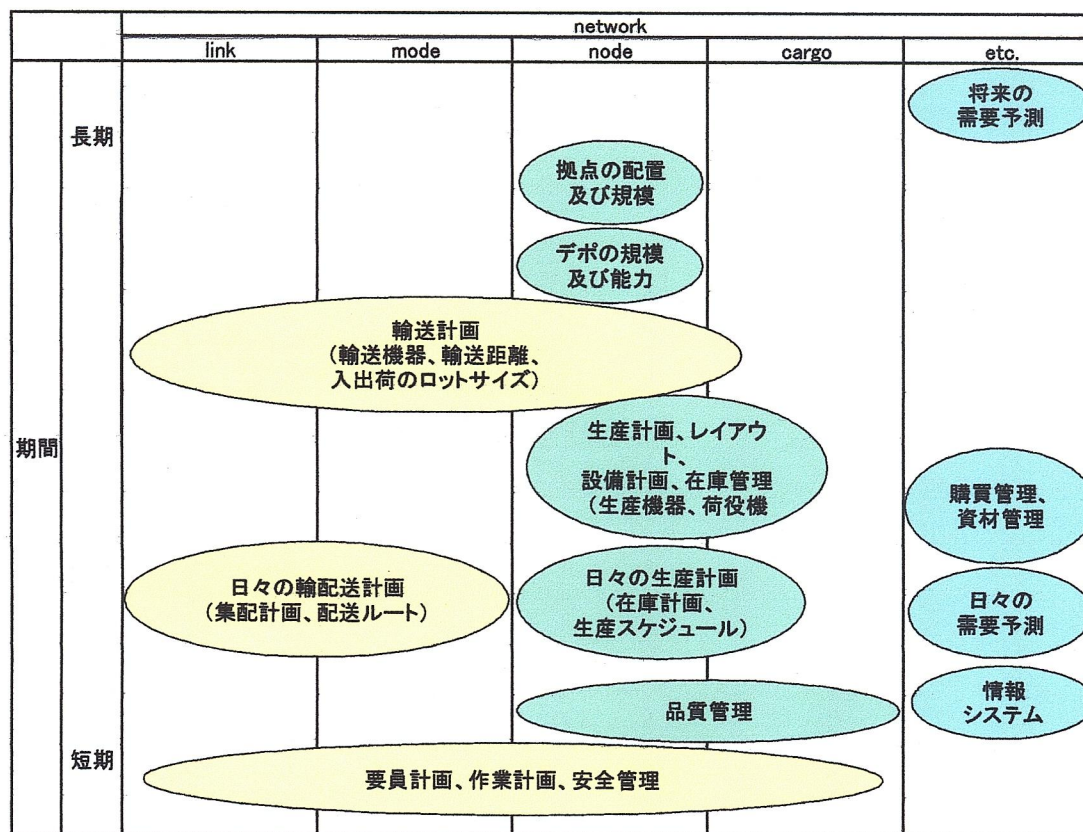


図 1.2 : パレットレンタルシステムにおける改善課題の全体像

それに対し、レンタルパレットの供給側は、ユーザーの要望に応えるため、全国多数ヶ所のデポ管理・運営及び複雑な回送等を行い、莫大な費用が発生している。そのため、今後のパレットレンタル料金の低廉化に対応できかねないと考えられる。

そこで、改善課題の中でも施設の立地の見直しが必要である。需要の変動や、地域のアンバランス等を把握し、顧客へのサービス（特に集配時間）も考慮した施設の立地を考える必要がある。

よってパレットレンタルシステムの運営改善のための立地計画モデルを構築する（コストと時間を対価におきかえた犠牲量モデル）。施設の立地の見直しに対する支援を行うことために、パレットレンタルシステムの立地に影響を与える特性（因子）を明らかにすることを目的とする。

### 1. 3 従来の研究

パレットレンタルシステムに関する研究はあまりされておらず、調査や報告書はいくつか存在する。よって研究が始まったばかりである。

### 1. 4 論文構成

図 1.2 に本論文の構成を示す。

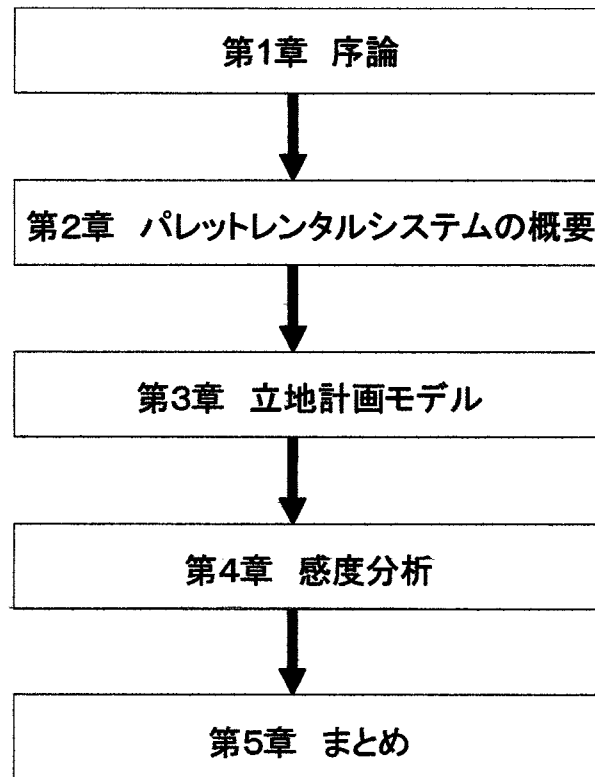


図 1.2 論文の流れ

第一章では研究の背景や目的をしめす。

第二章では、一貫パレチゼーション、パレットレンタルシステムについての詳細な説明を行う。

第三章では、パレットレンタルシステムのネットワーク構成を説明し、立地計画モデルの設計を行い、それに伴うデータの説明を行う。

第四章では、立地計画モデルを用いて、パレットレンタルシステムに影響を与える特性を明らかにする。

第五章では、論文のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. パレットレンタルシステムの現状

### 2. 1 一貫パレチゼーションについて

#### 2. 1. 1 一貫パレチゼーションとは

物品又は放送貨物をパレットに積み、パレット単位で荷役、輸送、保管する方法。パレットによるユニットロードで荷役を機械化し輸送、保管、包装の効率化を図る手段である。発荷地から着荷地まで異なる業種、企業を経て一貫して同一のパレットに貨物を積載したまま輸送を行うことである。

ここで使用されるパレットは平面 T1 1 型(1100×1100mm) { 3. 2. 2 レンタルパレットの品種 (図 2.5) 参照} と JIS で規格されている。ISO 規格にも登録され、国際間での一貫パレチゼーションに対応できるようになっている。

ユニットロードとは複数の物品または包装貨物を機械及び器具による取り扱いに適するように一つの単位にまとめた貨物のことである。

#### 2. 1. 2 利点

一環パレチゼーションを行うことにより物流問題を解決し利点を得ることができる。

- (1) 荷役時の非人道的な重労働が回避され、作業員の労働環境が改善される。3 k の改善。
- (2) 荷役時間が大幅に短縮されトラックやコンテナの回転率が上昇する。またそれにより、流通在庫も削減でき、保管施設等投下資金も制御できる。
- (3) パレットは常に一定の数量を積んでいる、人力作業での疲労やミスによる荷傷みの発生が極端に減少するため発送時及び受荷時の数量ミスを防ぐことができる。数量管理が容易になる。
- (4) その他

#### 2. 1. 3 問題点、阻害要因

一方、一環パレチゼーションを行うことにあたり、問題点や阻害要因も同時に生じる<sup>[1.3][2.2]</sup>。

- (1) パレットの回収率が悪い。一度輸送したパレットが返って来ない。
- (2) 空パレットの返送費がかかる。
- (3) パレットの必要枚数がかかり、パレット管理費が多額となる。
- (4) 荷受地にテレパイザーやフォークリフト等、インフラが用意されていない。
- (5) パレットの体積分だけ積載効率が低下する。また、積荷が多種多様であるためパレット化が困難である。
- (6) 商取引単位と適合しない。
- (7) その他

以上の問題点を補う手段のうち主としてパレットプールシステムが用いられる。

## 2. 2 パレットプールシステムと四つの方式

### 2. 2. 1 パレットプールシステムとは

構造・寸法などが統一された互換性のあるパレットを広範囲の業界及び輸送機関で相互に共同運用する仕組みのこと<sup>〔1.3〕</sup>。一貫パレチゼーションの問題点を補い推進するシステムである。特に、2. 1. 3（1）のパレット回収率を改善し、未返却を防ぐのに有効である。

### 2. 2. 2 四つのパレットプール方式<sup>〔1.3〕</sup>

パレットを共同利用する方式、パレットプールシステムにはヨーロッパを始め世界では四つの方式がある<sup>〔1.3〕</sup>。

- （1）即時交換方式
- （2）レンタル交換併用方式
- （3）貸借決算交換方式
- （4）レンタル方式

#### （1）即時交換方式

発荷主がパレタイズした貨物と同数の空パレットを輸送業者と交換しながら発送する。同様に輸送業者は荷受人からパレタイズ貨物と同数の空パレットを受け取り、貨物を引き渡す方式。ヨーロッパ各国内で用いられているためヨーロッパ方式とも呼ばれている。

欠点としては

- ①パレット稼働率が悪い
- ②予備パレットがないと荷物を受け取れないためいろいろなデメリットが発生する恐れがある。
- ③補修しなければならないパレットや品質の悪いパレットを交換用に出し、プール内のパレット品質が悪くなる。これを中心となる輸送機関が処理しなければならず、不公平が生じる。
- ④発荷主と受荷主の間に多数の輸送機関が入ると運用が困難である。

などが新たに生じる。

## (2) レンタル交換併用方式

この方式はイギリスの運輸省がパレットプールシステムを実施するために提案されたものである。

運送業者をAグループ、発荷主、受荷主をBグループとしAグループ内はレンタルパレット会社からからパレットをレンタルし、AグループとBグループの接点でパレタイズ貨物と交換に空パレットを荷主に渡すという方式。

欠点としては

- ①荷主のパレット保有枚数の削減ができない。
- ②受荷主は交換用パレットを準備しなければならない。

など新たに欠点が生じる。

## (3) 貸借決算交換方式

パレットの流れ方は即時交換方式と全く同じだが、現場でパレットを交換する必要がなく、定められた所定日数以内に返却すれば良い。現場では伝票処理によるシステムだけですむ。ただし、定められた期間内に返却を怠ったり、紛失したものに対しては弁償金を支払うように取り決められている。

欠点としては即時交換方式と同様だが、荷主側に交換用パレットがなくても、納荷できることを補った方式である。スウェーデンでは即時交換方式に変わり、この方式が多く普及している。

## (4) レンタル方式

各地にデポを持つ一つのレンタル会社が発荷地の需要に応じてパレットを貸し、輸送後、不要になった時点で最寄りのパレットデポへ変換するシステムで、パレットが荷主から荷主へ次々と移動するように工夫されている。俗にパレットレンタルシステムと呼ばれているものである。修整備もパレットレンタル会社が行い、また規格統一や品質の悪化を避けられる、公平なコスト分担システムが構築できるなど利点も多い。

欠点としては、

- ①パレットの引渡し、返還、レンタル料の計算などに事務処理が要求される。
- ②荷主の偏在などによってパレットの吹き溜まり地区が発生する。
- ③レンタル会社デポより荷主までのからパレットの短距離輸送が必要である。

しかし、①、②に関しては、パレットを使用するユーザーから見れば、管理事務の処理はレンタル会社側の役割であり、パレットの吹き溜まり現象もレンタル会社側の責任範囲であるから、直接のデメリットとはならない。

が、③に関してはレンタル会社側のデポ立地計画や、パレット回収方式、料金システム（レンタル料金）等の改善が望まれる。



## 2. 3 パレットレンタルシステムについて

### 2. 3. 1 パレットレンタルシステムとは

上記でも説明したが、ここで定義をしておく。

パレットプールシステムの一つであり、パレットプール機関となる企業が存在し、広範囲の業界及び格輸送機関の初荷地でパレットを貸し出し、着荷地で回収するシステムのこと。

### 2. 3. 2 パレットレンタル事業内容

上記で述べたように、パレットレンタルシステムはパレットレンタル企業の行動そのものと言えるため次にパレットレンタル事業内容を詳しく述べる。

### 2. 3. 3 パレット回収システム

パレットレンタル企業では、ユーザーの輸送体系に合わせ四つの回収システムがある<sup>[2.3]</sup>。  
(パレットレンタル企業「日本パレットレンタル (JPR) 株式会社」の場合)

## SYSTEM 1

パレット回収のもっともベーシックなパターンである。

### 配送時回収方式

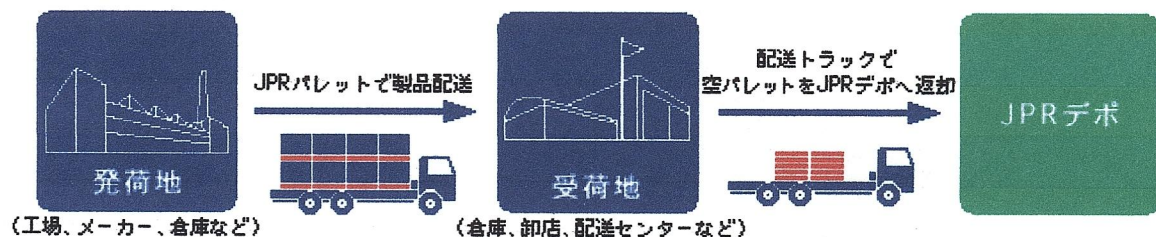


図 2.1 配送時回収方式

配送後のトラック便を利用して空パレットを回収。

ユーザーがトラックで製品を配送後、受荷地点で前回使用した分の空パレットをそのトラック便で最寄りの JPR デポに返却する方式。JPR デポは、全国 150 ケ所に設置されている。ユーザーのトラック便の都合に応じて、どこかのデポへも返却可能。輸送経費の面においても、効率的な基本パターンとなる。



## SYSTEM 2

製品の配送先で長期間パレットを保管したい場合など。

### 同数交換方式

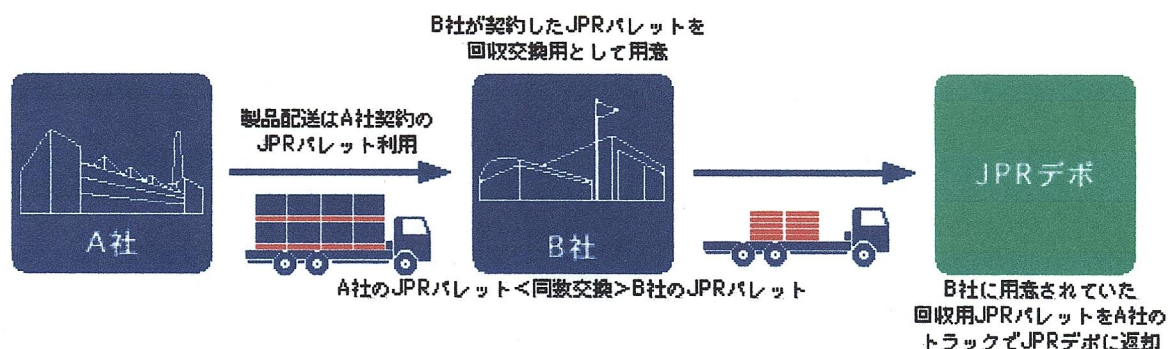


図 2.2 同数交換方式

利用したパレットと同数のパレットを配送先で交換して回収。

あらかじめ配送先にも JPR パレットをストック、配送時に使用したパレットと同数のパレットを交換し、積替えのうえ最寄りの JPR デポへ返却する方式。配送先で製品が長期間保管され、即時回収が困難な場合、または配送先の顧客に空パレットの回収作業を依存しにくい場合などに最適で、パレットの責任管理が容易である。

## SYSTEM 3

特定先に製品配送する場合など。

### ルート回収方式

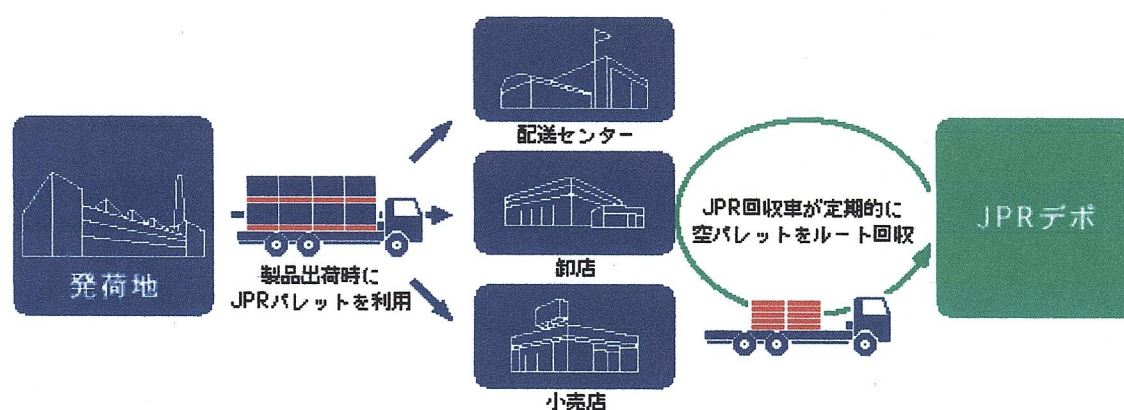


図 2.3 ルート回収方式

JPR トラックが特定先を定期的に巡回する回収システム。

数ヶ所の特定先に定期的な製品配送を行なっている場合、JPR が代行して空パレットを回収する方式。ユーザーは複数の最終配送先（パレット回収地点）を指定し、JPR のトラックが定期的に巡回して空パレットを回収することにより、もっとも効率的なルート回収を行う。

\* 別途、回収料金が必要となる。

## SYSTEM 4

製品配送先でのパレット回収が困難な場合など。

### JPR 配車回収方式

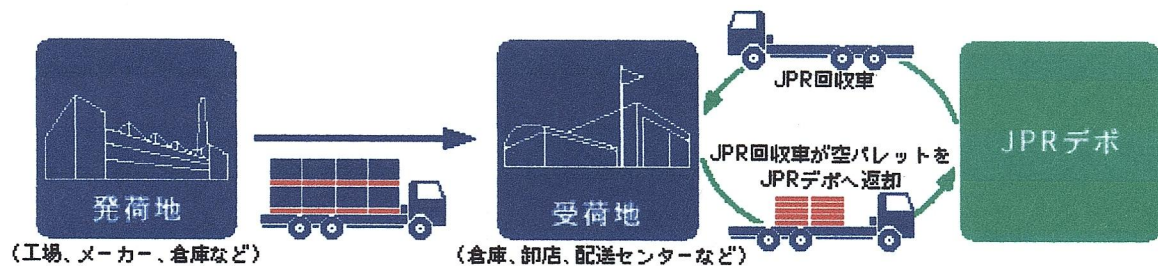


図 2.4 JPR 配車回収方式

空パレットを JPR が配車したトラックで回収するシステム。

配送先が一定地点にまとまらない場合、または配送先の顧客に空パレットの返却を依存しにくい場合などに、JPR が代行してトラックを配車し、全国ネットで空パレットを回収する方式。必要に応じ、電話一本で回収トラックを手配することが可能である。

### 2. 3. 4 レンタルパレットの商品類

パレットレンタル企業ではユーザーに合わせ、多品種のパレットをレンタル商品としている [2.3] [2.4]。

(パレットレンタル企業「日本パレットレンタル株式会社」の場合)

#### 平面パレット

- (1) JIS T11 型パレット (図 2.5)
- (2) PT-11 型プラスチックパレット
- (3) 12 型パレット
- (4) 13 型パレット
- (5) 14 型パレット
- (6) 11 型片面使用プラスチックパレット

#### その他のパレット

- (7) J コン (プラスチックコンテナ)
- (8) パレテーナ (図 2.6)
- (9) カーゴ・テーナ
- (10) Z ラック (図 2.7)
- (11) パレット・サポーター



図 2.5 JIS T11 型パレット



図 2.6 パレテーナ

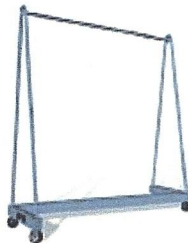


図 2.7 Zラック

実際にレンタル商品の8割は（1）JIS T11 型パレットであるため、本論の対象パレットは（1）JIS T11 型パレットとする。また、JISにより“一貫パレチゼーション専用パレット”と規格されているのは、（1）JIS T11 型パレットである。一貫パレチゼーションの促進につながらない。

### 2. 3. 5 レンタル料金システム

現在是一片あたり、10円であり、枚数×日数で決まる。また、大量にレンタルしたユーザーには特別割引も行われる。

### 2. 3. 6 P研（T11型レンタルパレット共同利用推進会）

P研とは多数の企業がパレットを共同利用、共同レンタルする組織であり、運用・管理の代表はパレットレンタル企業で行われている<sup>[2.3]</sup><sup>[2.4]</sup>。

（パレットレンタル企業「日本パレットレンタル株式会社」の場合（図2.8））  
原則として

- （1）JIS規格T11型パレットを利用
- （2）JPRレンタルパレットを使用。
- （3）共同回収をする。（自社回収はしない）
- （4）費用負担

①リレーチャージ（注1）

②レンタル料は7日分で計算

③共同回収料金（回収依頼料金）

（注1）パレットが出荷側から荷受側へ移動する場合、  
パレット1枚につき名義変更料金が発生すること。

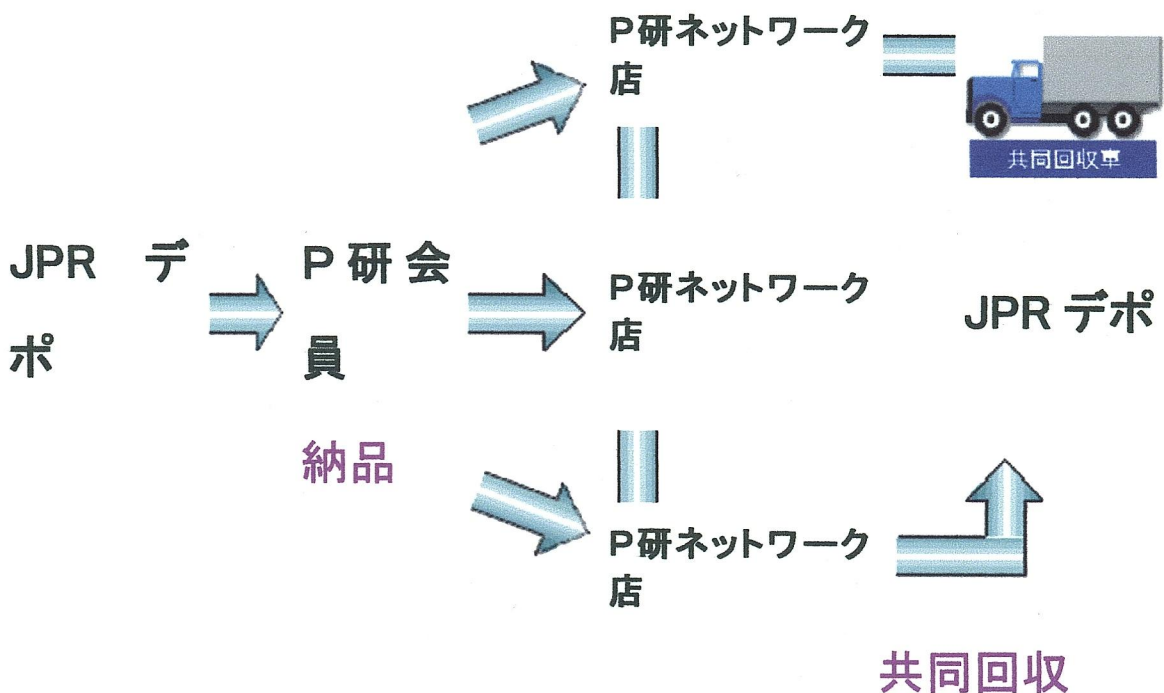


図 2.9 P研のパレット流れ図



### 2. 3. 7 デポ立地<sup>[2.3]</sup>

(パレットレンタル企業「日本パレットレンタル株式会社」の場合 (図 2.10))

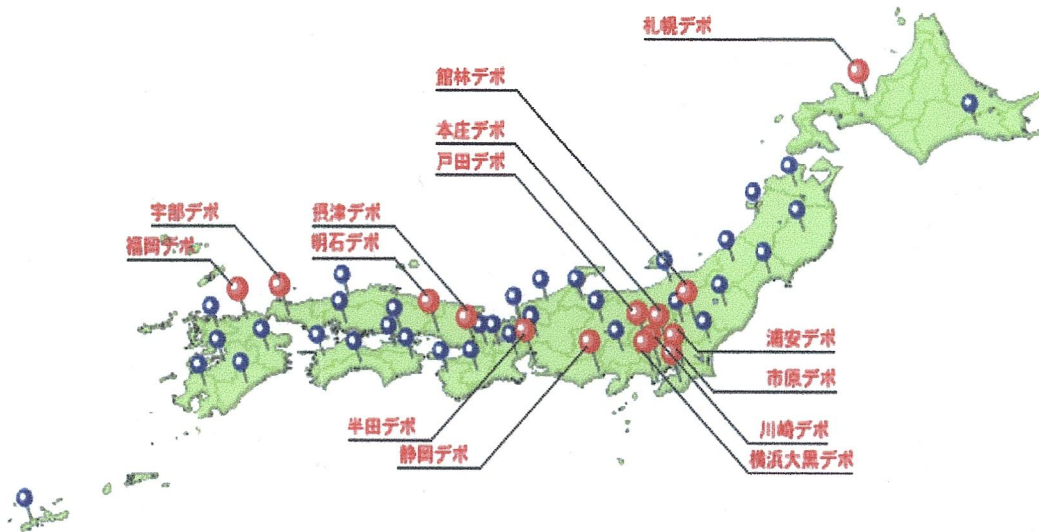


図 2.10 デポ配置

上の (図 2.10) にあるようにデポには直営デポとサテライトデポの二種類ある。

直営デポ…保管機能と返却されたパレットに選別・修繕・虫検査等を行う生産機能を持つ。  
パレットレンタル企業が直接管理・運営を行う。

サテライトデポ…保管機能のみを持つデポ。言わば受け取り窓口の役割。  
管理・運営は基本的に物流会社にアウトソーシングされている<sup>[2.5]</sup>。

以上からもわかるように、一度サテライトデポに返却されたパレットは、もう一度レンタル商品に修繕するため直営デポに輸送する。

### 2. 3. 8 その他の事業

パレットレンタル事業のノウハウを生かし、パレットレンタル企業は様々な事業をおこなっている<sup>[2.3]</sup><sup>[2.4]</sup>。(「日本パレットレンタル株式会社」の場合)

- (1) 中古パレット販売
- (2) 物流関連機器の販売
- (3) 物流ソフトの販売
- (4) 物流コンサルティング

### 3 立地計画モデル

#### 3. 1 数理計画法と施設立地問題 <sup>[3.1]</sup> <sup>[3.2]</sup> <sup>[3.3]</sup>

##### 3. 1. 1 数理計画法

数理計画法とは「最も望ましい計画を作成するために用いられる数理的方法」(jis-z-1821)とあるが、狭義にわかる安く解釈すれば、「ある制約式のもとで、ある目的関数を最適化する手法」を示す。

最適化される目的(関数)は様々で、「費用最小化」、「利益最大化」、「効用の最大化」、「数の最大化、最小化」などがある。そして、計画問題の中に現れるすべての構成要素および構成関係(ノードとリンク)を、数理的な量や変数および関係式として表現し、最適な解、決定変数を求める。

また、最適化手法としての数理計画法は、数理表現の容易な分野少なくとも表現可能な分野で、変数や関係式の性質、モデルの特徴を十分反映させた解析法が考案されている。

OR、システム工学、情報工学、経営学等を中心とした分野では、もともと基本的な数理的意思決定手法として、意欲的に研究され、数学等の理論や実務の両面から不断に研究が推し進められてきており、統計的な数量化理論やあいまい(Fuzzy)理論などの発展にも取り組まれている。実状の問題がある程度多量のデータを扱う場合でも、現在では情報化技術の推進、計算機の発展により対応できるようになった。

しかし、数理計画法によって得られた最適解が、実状、計画問題において正しい解決案であるかどうか検討する必要がある。実状を数理計画法で、いかに近似化して定式化することが、最も重要であるが、その定式化が、一意的にはならないことが多く、実状に近似した精度の高い定式化を簡単に習得できるものではない。そのためにも、実状、計画問題の本質をよく理解し、さらに数理的方法も習熟することで徐々に有効性の高い手段となりうる。

##### 3. 1. 2 混合整数計画法

上記で示した数理計画法に属する手法として、線形計画法、非線形計画法、整数計画法、動的計画法、ネットワークモデル等がある。そこで、「最小化」、または「最大化」すべき目的関数、複数の等号、不等号で表される制約条件が線形式である線形計画法と、変数が整数(例えば0-1関数)である条件がついた整数計画法が混合した手法が混合整数計画法である。これは、単体法と分岐限定法が有効な解法として解かれる。

### 3. 2 複数デポのモデル化

#### 3. 2. 1 複数デポにおける施設立地とパレット流動の表現

複数デポにおける施設立地とパレット流動をネットワーク（ノードとリンク）に見立て表現した。施設は直営デポ（生産能力と保管機能を保有）、サテライトデポ（保管のみを保有）、があり、貸し出し需要地、返却需要地、新規パレット製造工場を加えノードとし、リンクは製品パレット、返却パレット（原材料パレット）および新規パレット輸送を表現した。

複数デポ間のパレット輸送を定式化するため、どのように施設立地とパレット流動を設計したかを図 4.1 を用いて説明する。

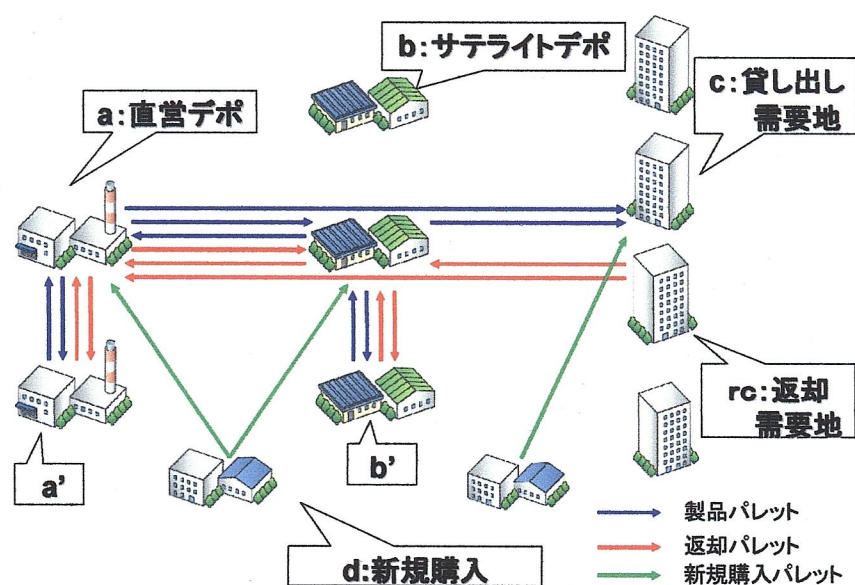


図 3.1 パレットレンタルシステムにおける施設立地とパレット輸送

- ① 直営デポ *a* から出荷された製品パレットはサテライトデポ *b* を経由し、貸し出し需要地 *c* に供給輸送される。または、貸し出し需要地 *c* がサテライトデポ *b* より直営デポ *a* に近い場合は直接、貸し出し需要地 *c* に輸送される。
- ② 次に、ユーザーがパレタイズ輸送を行ったこととし、返却パレットが返却需要 *rc* からサテライトデポ *b* を経由し、直営デポ *a* に返却輸送される。また、製品パレット輸送と同様、返却需要地 *rc* がサテライトデポ *b* より直営デポ *a* に近い場合は直接直営デポ *a* に輸送される。
- ③ 直営デポ *a* に返却された原材料パレットは生産（選別、修繕）され、再び製品パレットとして、①の輸送を行う。
- ④ 次に、上記の行程①～③までのうち、ユーザー使用の段階で、必ず紛失や修繕不可能な破損等が発生するのが考えられる。そこで、新規パレット製造工場 *d* から新規パレットを直営デポ *a*、サテライトデポ *b*、貸し出し需要地 *c* へのいずれも輸送し注入すると考えられるとし、表現した。

- ⑤ また、需要量、生産能力のアンバランスにより、製品パレット輸送の直営デポ間 ( $a \leftrightarrow a'$ ) 輸送、サテライトデポ間 ( $b \leftrightarrow b'$ ) 輸送が発生すると考えられるため表現する。その際、直営デポ間輸送 ( $a \leftrightarrow a'$ ) は、一旦、サテライトデポ  $b$  を経由すると考えられるため、サテライトデポ  $b$  から直営デポ  $a$  への逆流も表現した。返却パレットも同等に表現した。

次に、具体的に定式化として、目的関数、制約条件の説明を行う。



### 3. 2. 2 目的関数の定式化

複数デポにおける施設立地とパレット流動を混合整数問題として定式化し、ネットワークにかかる総費用が最小となるモデル設計を行う。また、単位期間あたりの生産量、保管量、輸送量を算出することが可能で、需要の変動といったことも検討可能なモデル設計を行う。

その際、施設（ノード）に関しては、直営デポとサテライトデポのそれぞれに変動費、固定費を与え、輸送（リンク）は輸送される製品パレット、返却パレットと新規パレットそれぞれに枚数と距離に変動する変動費を与える。

新規パレットを購入した際にかかる費用も与える。

総費用は式 4.1 に表す。

$$\begin{aligned} \text{総費用} = & \text{輸送(ノード)費用} + \text{施設(リンク)費用} + \text{新規購入費用} \\ & + \text{ユーザに対する時間価値 (円)} \rightarrow \min \end{aligned}$$

…式 4.1

定式化に使用する総費用は表 3.1 に表す。

表 3.1 総費用分類

	A	C	D	E	F
1	総費用	輸送(リンク)費用	製品パレット輸送費用	デポ間輸送費用	直営デポ間製品パレット輸送費用
2					直営デポ、サテライトデポ間製品パレット輸送費用
3				デポ、需要地輸送費用	サテライトデポ、直営デポ間製品パレット輸送費用
4					サテライトデポ間製品パレット輸送費用
5			使用済みパレット輸送費用	デポ間輸送費用	直営デポ、貸し出し需要地間製品パレット輸送費用
6					サテライト、貸し出し需要地間製品パレット輸送費用
7				デポ、需要地輸送費用	直営デポ間使用済みパレット輸送費用
8					サテライト、直営デポ間使用済みパレット輸送費用
9			新規パレット輸送費用	各ノードへの輸送費用	サテライトデポ間使用済みパレット輸送費用
10					返却需要地、直営デポ間済みパレット輸送費用
11				各ノードへの輸送費用	返却需要地、サテライトデポ間済みパレット輸送費用
12					新規購入、直営デポ新規パレット輸送費用
13			直営デポ運営費用	変動費	新規購入、サテライトデポ新規パレット輸送費用
14					新規購入、需要地新規パレット輸送費用
15				固定費	運搬費
16					施設関係費
17		施設(ノード)費用	サテライトデポ運営(委託)費	変動費	生産費
18					保管費
19				固定費	運搬費
20					施設関係費
21			新規パレット購入費	変動費	生産費
22					保管費
23				固定費	入庫費
24					出庫費
25			新規パレット購入費	変動費	保管費
26					契約費等
27					新規パレット購入費

次に、定式化に使用した記号の説明を行う。

・「集合」に関する記号

$A$	: 直営デポ $a$ の集合
$B$	: サテライトデポ $b$ の集合
$C$	: 貸し出し需要地 $c$ の集合
$RC$	: 返却需要地 $rc$ の集合
$D$	: 新規パレット製造工場 $d$ の集合
$P$	: $a \in A$ 及び $b \in B$ で構成される集合
$Q$	: $a \in A$ 、 $b \in B$ 及び $c \in C$ で構成される集合
$R$	: $a \in A$ 、 $b \in B$ 及び $rc \in RC$ で構成される集合
$T$	: 期間の集合 (一週間を想定)

・「パラメータ」に関する記号

“直営デポ” に使用した記号

$M_a$	: 直営デポ $a$ においての一枚あたりの生産費 (円/枚)
$PAMAX_a$	: 直営デポ $a$ の単位期間毎の生産能力限界 (枚)
$V_a$	: 直営デポ $a$ の単位期間毎の取扱量 (枚)
$F_a$	: 直営デポ $a$ の固定費用 (円)
$CostSA$	: 直営デポ $a$ の一枚あたりの保管費 (円/枚)

“サテライトデポ” に使用した記号

$I_b$	: サテライトデポ $b$ の一枚あたりの入庫費 (円/枚)
$O_b$	: サテライトデポ $b$ の一枚あたりの出庫費 (円/枚)
$F_b$	: 直営デポ $b$ の固定費用 (円)
$V_b$	: サテライトデポ $b$ の単位期間毎の取扱量 (枚)
$CostSB$	: サテライトデポ $b$ の一枚あたりの保管費 (円/枚)

“貸し出し需要地” に使用した記号

$D_c$	: 貸し出し需要地 $c$ の単位期間毎の要求量 (枚)
-------	------------------------------

“返却需要地” に使用した記号

$D_{rc}$	: 貸し出し需要地 $rc$ の単位期間毎の要求量を表す。(枚)
----------	----------------------------------

“新規製造工場” に使用した記号

$CostN$	: 一枚あたりの新規パレットの価格 (円/枚)
---------	-------------------------

“輸送” に使用した記号

$Cost$	: 単位距離 (km)、パレット量 (枚) あたりの輸送費用 (円/km・枚)
--------	---

$S$  : ノード間の距離 (km)  
 $tv$  : 製品の需要地に対する時間価値 (円/時間・枚)  
 $LT_{pc}$  : 輸送時間 (時間)

「決定変数」に関する記号

$X_t$  : ノード間の製品パレットの単位期間毎の流動量 (枚)  
 $Y_t$  : ノード間の使用済みパレットの単位期間毎の流動量 (枚)  
 $N_t$  : ノード間新規購入パレットの単位期間毎の流動量 (枚)  
 $Z_a$  : 0-1 関数または直営デボの生産規模係数  
 $Z_b$  : 0-1 関数サテライトデボの生産規模係数  
 $P_{at}$  : 直営デボ  $a$  の単位期間毎の生産量 (枚)  
 $SAX_{at}$  : 直営デボの単位期間毎の製品パレットの保管量 (枚)  
 $SAY_{at}$  : 直営デボの単位期間毎の返却 (原材料) パレットの保管量 (枚)  
 $SBX_{bt}$  : サテライトデボの単位期間毎の製品パレットの保管量 (枚)  
 $SBY_{bt}$  : サテライトデボの単位期間毎の返却 (原材料) パレットの保管量 (枚)

次に、総費用の内 (1) 輸送(リンク)費 (2) 施設 (ノード) 費用 (3) 新規購入費用 (ユーザに対する時間価値) に分け、説明する。

#### (1) 輸送 (リンク) 費用

$$\begin{aligned}
 \text{輸送(ノード)費用} &= \text{製品パレット輸送費用} \\
 &\quad + \text{返却パレット輸送費用} \\
 &\quad + \text{新規購入パレット輸送費用 (円)} \quad \dots \text{式 3.2}
 \end{aligned}$$

と表現できる。

まず、製品パレットの輸送費用の説明を行う。

$$\begin{aligned}
 SeihinYuso &= \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} X_{pqt} \times S_{pq} \times Cost \\
 &\quad (a \in P \neq a \in Q), (b \in P \neq b \in Q) \quad \dots \text{式 3.3}
 \end{aligned}$$

(式 3.3) は各単位期間あたりに、運ばれた枚数  $X$  [枚] と運ばれた距離  $S$  [km] に比例するとし、輸送単価係数  $Cost$  [円/枚・km] を掛け合わせて構成し、総和をとる。

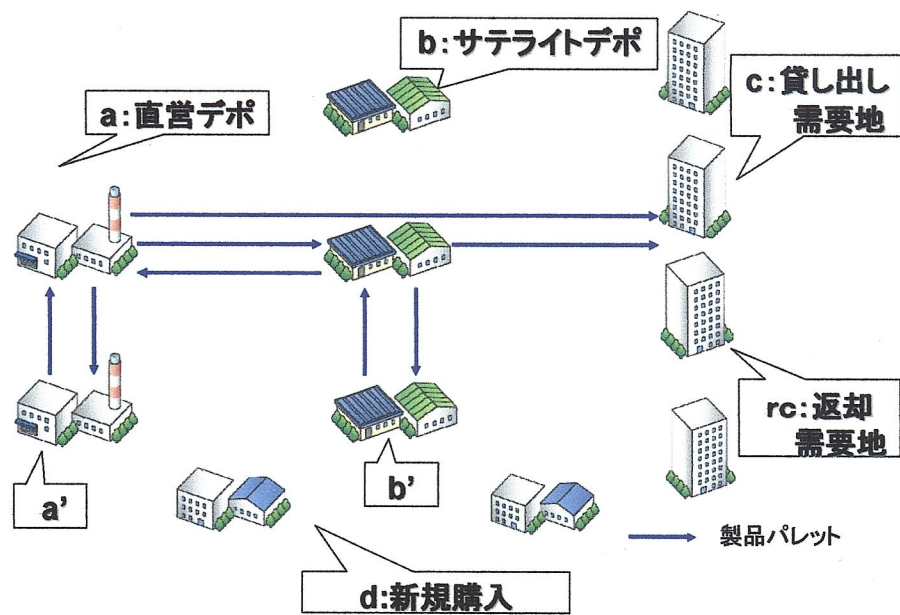


図 3.2 製品パレット輸送

(図 3.2) で示すように製品パレット輸送を表す有効グラフの始点は、直営デポ  $A$ 、サテライトデポ  $B$  となり、終点は直営デポ  $A$ 、サテライトデポ  $B$ 、貸し出し需要地  $C$  となる。

よって、記号  $X$  及び  $S$  は始点と終点の要素で決まることにより  $X_{pq}$ ,  $S_{pq}$  と表す。

但し、 $(a \in P \neq a \in Q), (b \in P \neq b \in Q)$  に関して説明すると、集合  $P, Q$  にも同一の要素  $a$  (直営デポ) が含まれるが、これが同一である場合の  $X_{pq}$ ,  $S_{pq}$  は (式 3.3) に含まないことである。

これは、たとえば直営デポ  $a_1$  から出荷された製品パレットが、どこの拠点 (貸し出し需要地も含む) を経由せずに再び直営デポ  $a_1$  に入荷されることは現実として表現するのは不適切である。

また、サテライトデポ  $b$  の場合も同様である。

次に、返却パレットの輸送費用の説明を行う。

$$hennkyakuyuso = \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} Y_{rpt} \times S_{rp} \times Cost \quad \dots \text{式 3.4}$$

$$(a \in R \neq a \in P), (b \in R \neq b \in P)$$

(式 3.4) は各単位期間あたりに、製品パレットと同様、運ばれた返却パレットの枚数  $Y$  [枚] と運ばれた距離  $S$  [km] に比例するとし、輸送単価係数  $Cost$  [円/枚・km] を掛け合わせて構成する。

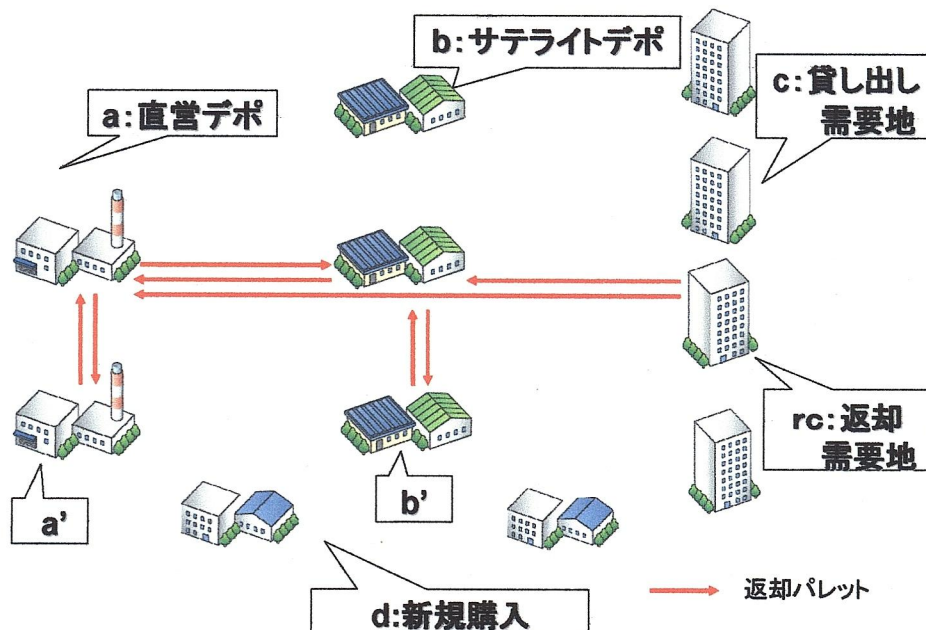


図 3.3 返却輸送

また、(図 3.3) で示すように、 $R$  と  $P$  の要素で決定されるため  $Y_{rp}$ ,  $S_{rp}$  と表す。

また、 $(a \in R \neq a \in P), (b \in R \neq b \in P)$ は、製品輸送の場合と同様である。

最後に新規購入輸送にかかる費用の説明を行う。

$$shinnkiyusou = \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} N_{dq} \times S_{dq} \times Cost \cdots \text{式 3.5}$$

(式 3.5) は各単位期間あたりに、運ばれた新規購入パレットの枚数  $N$  [枚] と運ばれた距離  $S$  [km] に比例するとし、輸送単価係数  $Cost$  [円/枚・km] を掛け合わせて構成する。

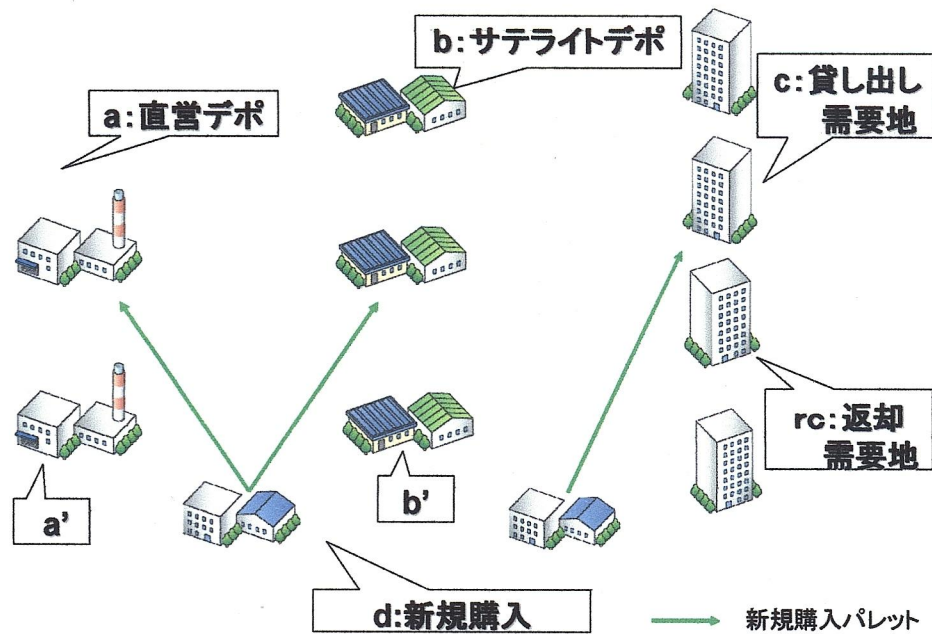


図 3.4 新規購入輸送

図 3.4 で示すように  $N_{dq}$ ,  $S_{dq}$  で構成する。輸送形態としては、新規購入されるパレットは、直営デポ、サテライトデポ、需要地のいずれかに納入される。

(2) 施設（ノード）費用

施設（ノード）費用は、直営デポ費用とサテライトデポ費用で捉え、

$$\text{施設（ノード）費用} = \text{直営デポ費用} + \text{サテライトデポ} \cdots (\text{式 3.6})$$

と表現し、それぞれ数式で表す。

$$\begin{aligned} chokuei = & \sum_{a \in A} (Z_a \times F_a) + \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} (M_a \times P_{at}) \\ & + CostSA \times \left( \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} SAX_{at} + \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} SAY_{at} \right) \cdots (\text{式 3.7}) \end{aligned}$$

固定費と変動費（生産費）の和をとり、直営デポの数だけ総和する。

固定費に関して、その直営デポ  $a$  の固定費  $F_a$  を 0-1 関数  $Z_a$  でかけ、存続するデポのみを表す。

生産費は、各単位期間あたりの生産量  $P_{at}$  [枚] に一枚あたりの生産費用  $M_a$  [円/枚] で表す。

保管費も同様に、一枚あたりの保管費  $CostSA$  に、各単位期間あたりの製品在庫、各単位期間あたりの原材料在庫をかけ合わせる。

$$sateraito = \sum_{b \in B} \left\{ \begin{aligned} & (Z_b \times F_b) \\ & + I_b \times \left( \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} X_{pbt} + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} Y_{rbt} + \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} N_{dbt} \right) \\ & + O_b \times \left( \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} X_{bqt} + \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} Y_{bpt} \right) \\ & + CostSB \times \left( \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} SBX_{bt} + \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} SBY_{bt} \right) \end{aligned} \right\} \cdots (\text{式 3.8})$$

サテライトデポの固定費に関しては直営デポと同様、固定費  $F_b$  に、0-1 関数をかけ合わせ、総和をとる。

変動費にあたる入庫費は、一枚あたりの入庫費  $I_b$  [円/枚] にそのサテライトデポに入荷したパレット量（各単位期間あたりの入荷量）をかけ合わせる。

出庫費も同様、一枚あたりの出庫費  $O_b$  [円/枚] に、サテライトデポの出荷量（各単位期間あたりの出荷量）をかけ合わせる。

保管費も同様に、一枚あたりの保管費  $CostSB$  に、各単位期間あたりの製品在庫、各単位期間あたりの原材料在庫をかけ合わせる。



### (3) 新規購入費用

$$\text{購入費用} = \text{購入枚数} \times \text{購入単価} \cdots (\text{式 3.9})$$

と表現し、数式で表現すると、

$$kounyuh = CostN \times \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} N_{dqt} \cdots (\text{式 3.10})$$

購入枚数は、各単位期間あたりに、新規パレット製造工場  $d$  から各拠点に輸送された新規パレット枚数とする。

構成はその枚数に購入単価 [円/枚] を掛けあわせた。

### (4) ユーザに対する時間価値

$$\text{時間価値の費用} = \text{時間価値} \times \text{輸送時間} \times \text{製品の輸送量} \cdots (\text{式 3.11})$$

と表現し、数式で表現すると、

$$jikan = tv \times \left( \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{pct} \times LT_{pc} \right) \cdots (\text{式 3.12})$$

時間価値の費用は、枚×時間あたりにかかる費用に、輸送時間と各単位期間あたりの製品輸送量をかけたものである。このとき、時間価値の対象となるものは、製品の輸送で、直営デポ、サテライトデポから納入されるパレットと、ユーザに直接納入される新規購入パレットである。今回の時間価値の概念としては、ユーザへの集配のサービスについて表現したものである。

目的関数 (1) ~ (3) をまとめた数式を (3.13) に示す。

$$\begin{aligned}
SCost = & \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} X_{pqt} \times S_{pq} \times Cost \\
& + \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} Y_{rpt} \times S_{rp} \times Cost \\
& + \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} N_{dqt} \times S_{dq} \times Cost \\
& + \sum_{a \in A} (Z_a \times F_a) + \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} (M_a \times P_{at}) \\
& + CostSA \times \left( \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} SAX_{at} + \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} SAY_{at} \right) \\
& + \sum_{b \in B} \left\{ \begin{aligned} & (Z_b \times F_b) \\ & + I_b \times \left( \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} X_{pbt} + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} Y_{rbt} + \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} N_{dbt} \right) \\ & + O_b \times \left( \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} X_{bqt} + \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} Y_{bpt} \right) \\ & + CostSB \times \left( \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} SBX_{bt} + \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} SBY_{bt} \right) \end{aligned} \right\} \quad (\text{式 3.13}) \\
& + CostN \times \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} N_{dqt} \\
& + tv \times \left( \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{t \in T} X_{pct} \times LT_{pc} \right)
\end{aligned}$$

*Type = Minimize*

### 3. 2. 3 制約条件

制約条件を以下に示す。

「輸送（リンク）に関する制約条件」

- (1) 製品パレット、返却パレット、新規パレット輸送に関する制約式

「施設（ノード）に関する制約条件」

- (1) 直営デポ  $a$  に関する制約式
- (2) サテライトデポ  $b$  に関する制約式
- (3) 貸し出し需要地  $c$  に関する制約式
- (4) 返却需要地  $RC$  に関する制約

「輸送（リンク）に関する制約条件」

(1) 製品パレット、返却パレット、新規パレット輸送に関する制約式

$$X, Y, N \geq 0 \cdots (\text{式 3.14})$$

(式 4.13) 各单位期間あたりの製品パレット、返却パレット、新規パレットすべての輸送は正である非負条件を表す。

$$\begin{aligned} S_{pc}, S_{rcp}, S_{dc} &\geq TMAX \\ X_{pct}, Y_{rcpt}, N_{dct} &= 0 \end{aligned} \cdots (\text{式 3.15})$$

式 (3.15) は、各单位期間あたりの製品パレット、返却パレット、新規パレットすべての輸送のうち施設（直営デポ、サテライトデポ）と貸し出し需要地ないし返却需要地との距離  $S_{pc}, S_{rcp}, S_{dc}$  が  $TMAX$  以上である場合は輸送を行わない条件である。図 3.5 で示す輸送のみ輸送可能距離を設定する。

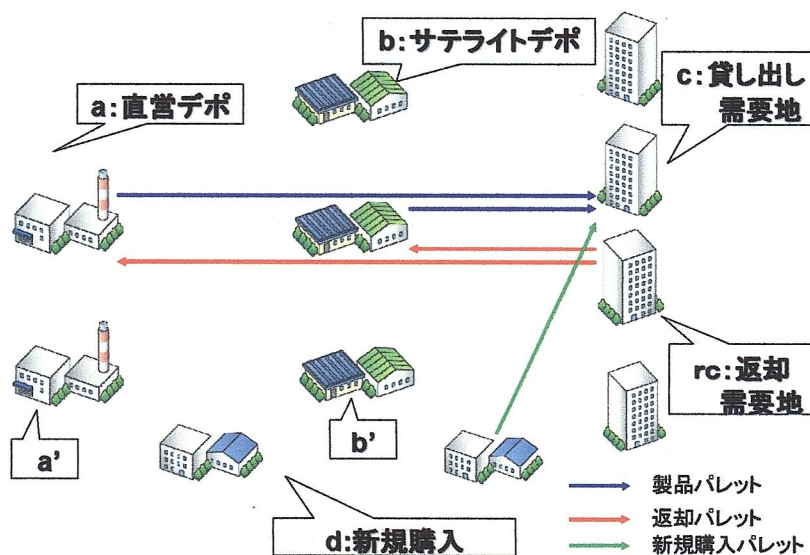


図 3.5 輸送可能距離を行う輸送

「施設（ノード）に関する制約条件」

（１） 直営デポ  $a$  に関する制約式

$$PAMAX_{at} \times Z_a \geq P_{at} \geq 0 \cdots (\text{式 3.16})$$

式 3.16 は単位期間あたりの直営デポ  $a$  の生産能力限界  $PAMAX_{at}$  以下であることを表す。

$$SAY_{at} = SAY_{at-1} + \sum_{r \in R} Y_{rat} - \sum_{p \in P} Y_{apt} - P_{at} \cdots (\text{式 3.17})$$

式 3.17 は直営デポ  $a$  の各単位期間あたりの原材料保管量を表している。期末在庫を表現しており、ある期間における原材料保管量は、一期前の原材料保管量に、返却されたパレットを加えて、そこから、横持ちで出荷されたもの、生産ラインに流れていったパレットを引いた量で表現される。

$$SAX_{at} = SAX_{at-1} + \sum_{p \in P} X_{pat} + \sum_{d \in D} N_{dat} + P_{at} - \sum_{q \in Q} X_{aqt} \cdots (\text{式 3.18})$$

式 3.18 は直営デポ  $a$  の各単位期間あたりの製品保管量を表している。期末在庫を表現しており、ある期間における製品保管量は、一期前の製品保管量に、横持ち入荷されたパレット、新規購入したパレットを加えて、そこから、横持ちで出荷されたものパレットを引いた量で表現される。

$$Z_a \times V_a \geq \sum_{p \in P} X_{pat} + \sum_{q \in Q} X_{aqt} + \sum_{r \in R} Y_{rat} + \sum_{p \in P} Y_{apt} + \sum_{d \in D} N_{dat} \cdots (\text{式 3.19})$$

式 3.19 は、単位期間ごとに、他の拠点に入荷ないし出荷された製品パレットの合計、同様に入荷、出荷された返却パレットの合計と新規工場  $D$  から入荷された新規パレットの合計の総和であり、右辺のその直営デポ  $a$  の取扱量以下であることを示す。

$$Z_a \in \{0,1\} \cdots (\text{式 3.20})$$

式 3.20 は  $Z_a$  は整数（0－1）変数であることを示す。

(2) サテライトデポ  $b$  に関する制約式

$$\sum_{q \in Q} X_{bq} = \sum_{p \in P} X_{pb} + \sum_{d \in D} N_{db} \cdots (\text{式 3.21})$$

式 3.21 は左辺のサテライトデポ  $b$  の製品パレット出荷量の合計は、右辺のそのサテライトデポ  $b$  に他の施設  $P$  から入荷された製品パレット枚数の合計と新規工場  $D$  から入荷された新規パレット枚数の合計の総和に等しいことを表す。

つまり、入荷されたパレットはすべて通過させることを意味する。

$$SBY_{bt} = SBY_{bt-1} + \sum_{r \in R} Y_{rbt} - \sum_{p \in P} Y_{bpt} \cdots (\text{式 3.22})$$

式 3.22 はサテライトデポ  $b$  の各単位期間あたりの原材料保管量を表している。期末在庫を表現しており、ある期間における原材料保管量は、一期前の原材料保管量に、返却されたパレットを加えて、そこから、横持ちで出荷されたたパレットを引いた量で表現される。

$$SBX_{bt} = SBX_{bt-1} + \sum_{p \in P} X_{pbt} + \sum_{d \in D} N_{dbt} - \sum_{q \in Q} X_{bqt} \cdots (\text{式 3.23})$$

式 3.23 はサテライトデポ  $b$  の各単位期間あたりの製品保管量を表している。期末在庫を表現しており、ある期間における製品保管量は、一期前の製品保管量に、横持ち入荷されたパレット、新規購入したパレットを加えて、そこから、横持ちで出荷されたものパレットを引いた量で表現される。

$$Z_b \times V_{bt} \geq \sum_{p \in P} X_{pbt} + \sum_{q \in Q} X_{bqt} + \sum_{r \in R} Y_{rbt} + \sum_{p \in P} Y_{bpt} + \sum_{d \in D} N_{dbt} \cdots (\text{式 3.24})$$

式 3.24 は、各パレットの単位期間あたりの入荷及び出荷の総和は、そのサテライトデポ  $b$  の取扱量以下であることを表す。

$$Z_b \in \{0,1\} \cdots (\text{式 3.25})$$

式 3.25 の  $Z_b$  は整数 (0 - 1) 変数であることを表す。

(3) 貸し出し需要地  $c$  に関する制約式

$$D_{ct} = \sum_{p \in P} X_{pct} + \sum_{d \in D} N_{dct} \quad (\text{式 3.26})$$

式 3.26 は、右辺の単位期間あたりの貸し出し需要量は、左辺の単位期間あたりの製品パレット輸送の合計と単位期間あたりの新規パレット輸送の合計の総和に等しいことを表す。つまり、貸し出し需要量（枚数）は必ず満たすとする。

(4) 返却需要地  $RC$  に関する制約

$$D_{rt} = \sum_{p \in P} Y_{rpt} \quad (\text{式 3.27})$$

式 3.27 は左辺の単位間あたりの返却需要量が、右辺の返却需要地からの単位間あたりの返却パレット輸送は等しいことを表す。

つまり、返却需要者は必ず返却輸送することを表す。

## 4. 施設の数及び規模の検討

### 4. 1 入力データの設定

際に計算を行うときの入力データ説明をする。入力データの項目は以下の通りである。  
記号の一覧は表 4.2 表 4.3 を参照

#### 4. 1. 1 「輸送（リンク）に関する入力データ」

#### 4. 1. 2 「拠点（ノード、需要地も含む）に関する入力データ」

- (1) 直営デポに関する入力データ
- (2) サテライトデポに関する入力データ
- (3) 貸し出し需要地に関する入力データ
- (4) 返却需要に関する入力データ
- (5) 新規工場に関するデータ

#### 4. 1. 1 「輸送（リンク）に関する入力データ」

##### 『Cost』

一般貨物自動車で、パレットのみを輸送するとし、T11 型パレットの体積、重量から求めていく。まず、一般貨物自動車貸切運賃<sup>[4.1]</sup>の費用係数を算出する。

一般貨物か貸切運賃は、上限値と下限値で記載されているため、中間値を算出し、求めていく。

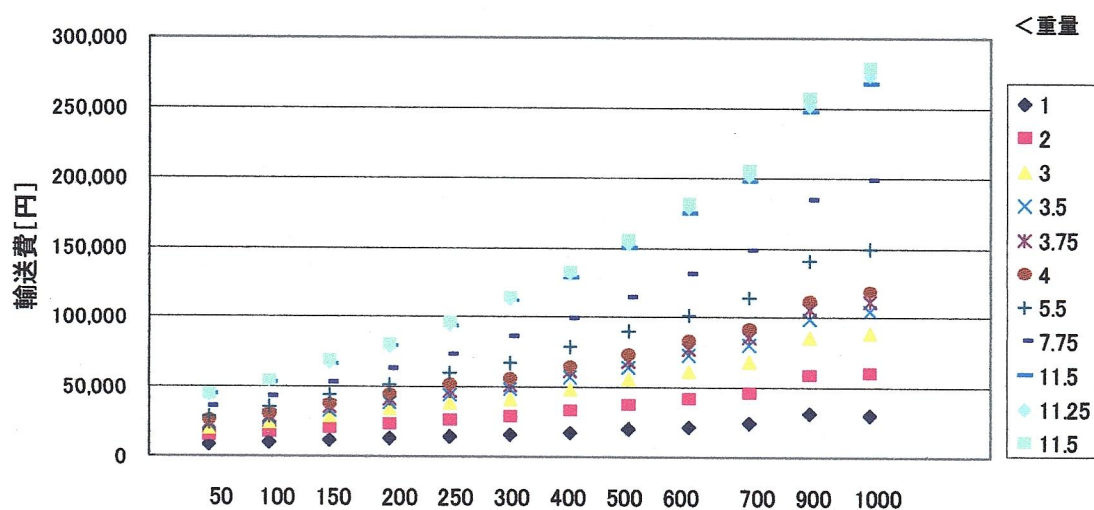


図 4.1 一般貨物輸送費の中間値

次に、表 4.1 と

表 4.1 トラックサイズと内のり容積



トラックサイズ[トン]	内のり容積[m <sup>3</sup> ]
1	13.36
2	15.41
3	23.43
3.5	24.84
3.75	28.05
4	33.03
5.5	35.09
7.75	53.29
11	47.49
11.25	52.39
11.5	51.32

“T1 1型パレット体積”

$$V_p(m^3) = 1.10_{(m)} \times 1.10_{(m)} \times 0.14_{(m)} = 0.1694 \text{ [2.1]} \dots \text{ (式 4.1)}$$

“T1 1型パレット重量”

$$W_p(t) = 0.045 \text{ [2.5]} \dots \text{ (式 4.2)}$$

(式 4.1)、(式 4.2) から表 4.3 を算出した。

表 4.2 最大積載表

トラックサイズ[トン]	積載枚数[枚](容積ベース)	積載枚数[枚](重量ベース)
1.00	79	22
2.00	91	44
3.00	138	67
3.50	147	78
3.75	166	83
4.00	195	89
5.50	207	122
7.75	315	172
11.00	280	244
11.25	309	250
11.50	303	256

さらに、表 4.2 と図 4.1 より

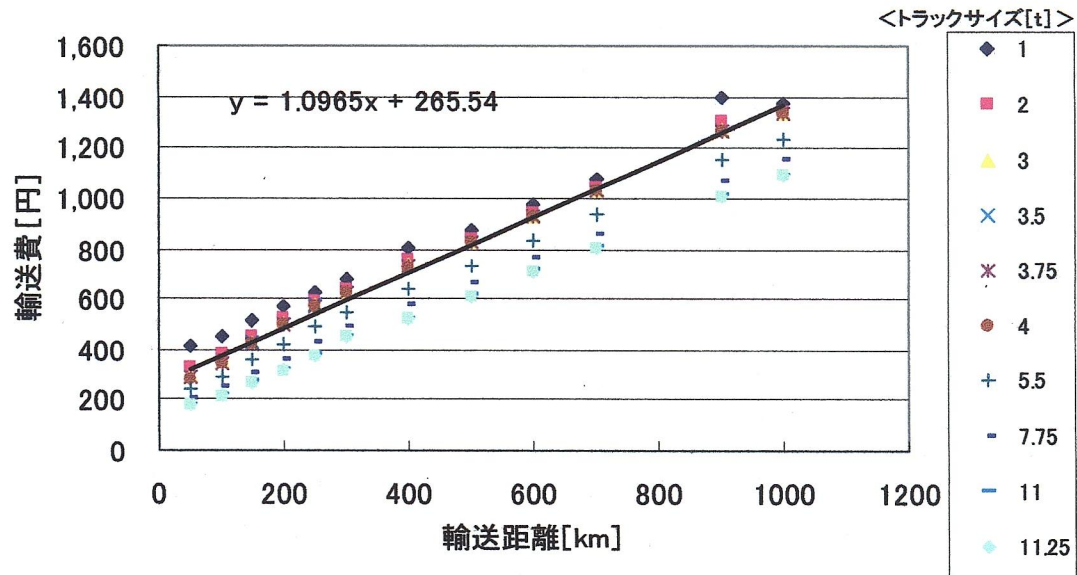


図 4.2 パレット一枚あたりの輸送費用（重量ベース）

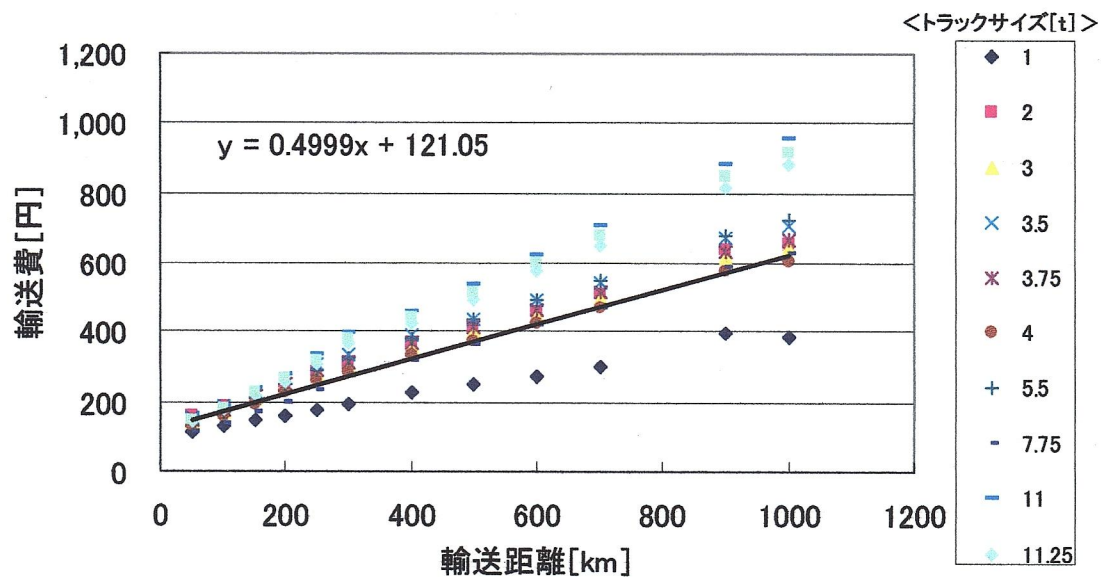


図 4.3 パレット一枚あたりの輸送費用（容積ベース）

図 4.3、図 4.4 を算出した。また、T1 1 型パレットは4 トントラックのウチノリで、寸法が決まっている。また、パレットの積載量はトンベースで換算する。<sup>[1.5] [4.2]</sup> そのため、重量ベースの4 トントラックの近似曲線を引き、その傾き [円/枚・km] を *Cost* とする。

『S』

拠点間輸送は最短道路距離をすると仮定し、道路ネットワーク<sup>[4.3]</sup>上に表わされている最も近い交差点に各拠点（需要を含む）を設定し、各拠点間の最短距離をダイクストラ法によってもとめた。拠点の位置は『A』、『B』、『C』、『RC』、『D』に示す。

### 『TMAX』

一日平均営業用トラック輸送可能距離 230.4 kmである<sup>[4.4]</sup>。施設から、需要地までを 230.4 km以下とする。ここでは、施設と需要地の最短距離が 125 kmであるため、125 kmを初期データとする。

### 『時間価値パラメータ』

式 3.12 の時間価値については、今回の計算においては使用していない。今回構築したモデルにおいて、時間価値は実際に費用がかかるものではなく、集配のサービスを検討するためのモデルである。レンタルシステム全体の費用実態を知るために、時間価値は使用していない。

## 4. 1. 2 「拠点（ノード、需要地も含む）に関する入力データ」

### （1）直営デポに関する入力データ

#### 『A』

ホームページ公開<sup>[2.3]</sup>による、全14カ所とする。

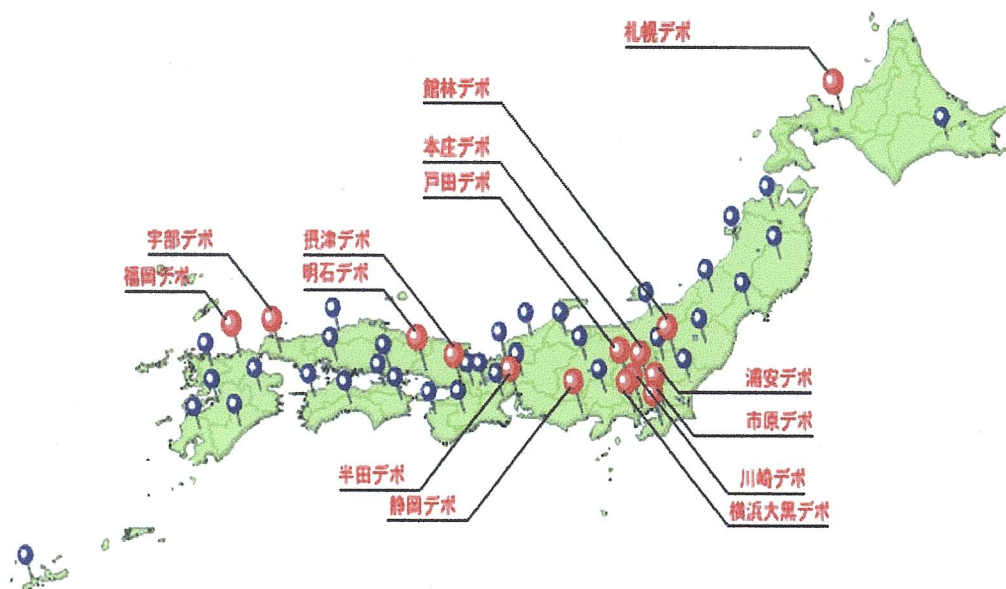


図 4.4 直営デポとサテライトデポの配置

図 4.5 は赤いシンボルが直営デポを表し、青いシンボルはサテライトデポを表す。

『 $M_a$ 』

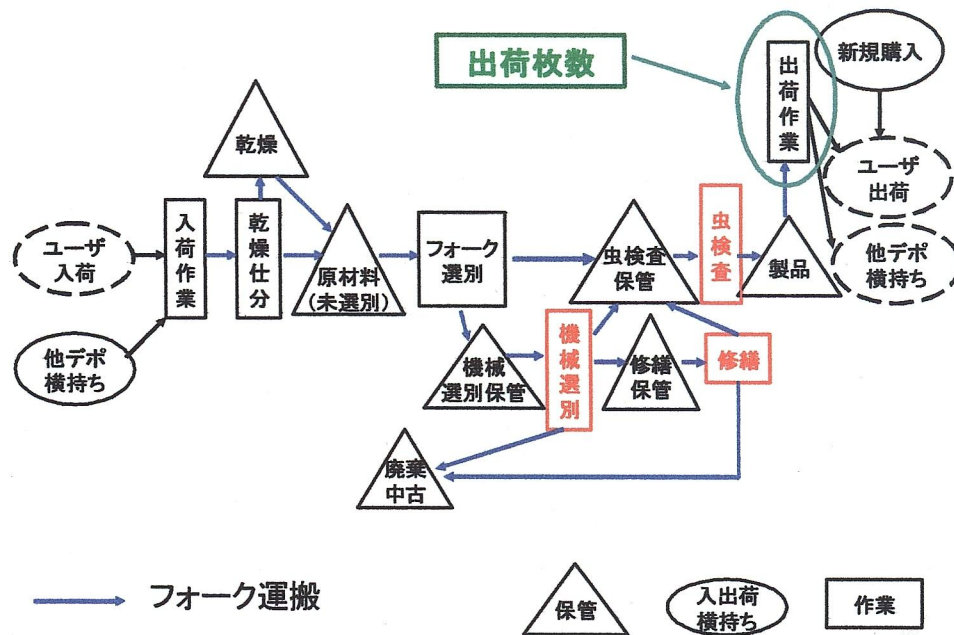


図 4.5 直営デポ内作業図 [4.2]

図 4.5 で示す作業工程のうち、フォークリフト運搬、機械選別、修繕、虫検査と生産に関する工程の変動費を算出し、合計出荷枚数で割ることで生産費用係数  $M_A$  を求めた。

『PAMAX』

$$PAMAX = \sum_{rc \in RC} D_{rc} \div \sum_{a \in A} 1 \times 10/7 \cdots \text{(式 4.3)}$$

需要推定の結果による、全国返却需要の合計を直営デポ数  $\sum_{a \in A} 1$  で割る。それを、全国生産能力は概算により 7 割であるため、10/7 をかける。全国直営デポは同等とする。

『 $V_a$ 』

$$V_a = \infty \cdots \text{(式 4.4)}$$

全国の直営デポの取扱量は不明であるため、 $\infty$  と仮定する。

『 $F_a$ 』

パレットレンタルシステムの直営デポの運営費用比率は、製造業の物流コスト比率と同等であると仮定し算出する。

業種別対売上高物流コスト比率(1998年度)

単位: %

費目	支払物流費	対物流子会社支払分	倉庫物流費				小計	物流コスト合計	売上高比率
			物流人件費	物流施設費	減価償却費	在庫金利			
製造業合計	50.72	24.27	9.68	3.25	2.46	9.63	25.01	100	6.38
水産	66.91	25.35	0.73	3.11	1.09	2.81	7.74	100	4.97
建設	51.9	34.17	4.21	2.36	1.15	6.21	13.93	100	3.89
食品(要冷)	75.1	-	17.17	3.3	3.86	0.57	24.9	100	12.5
食品(常温)	48.56	30.5	0.7	4.00	2.54	4.64	20.55	100	9.47
繊維	64.11	33.31	10.79	8.01	2.84	13.95	35.58	100	6.35
紙	70.46	7.35	3.56	2.38	5.08	18.37	100	11.29	
プラスチック・ゴム	58.07	23.43	7.74	2.2	1.78	4.71	16.44	100	8.84
化学繊維	69.19	11.58	4.36	4.02	2.43	8.43	19.23	100	6.12
石鹸・洗剤・塗料	60.01	33.33	1.81	-	1.95	2.89	6.66	100	5.87
医薬品	31.37	17.42	15.12	6.95	10.67	18.45	51.2	100	2.1
化粧品・歯磨	40.36	44.41	6.66	-	1.99	6.59	15.23	100	4.66
その他化学工業	57.75	23.93	6.33	3.5	1.2	7.3	18.32	100	7.98
石油製品・石炭製品	61.38	32.81	2.01	2.09	1.13	0.58	5.81	100	2.79
窯業・土石・ガラス・セメント	58.19	23.05	4.41	4.39	2.83	7.14	18.77	100	14.2
鉄鋼	32.89	62.65	0.58	0.84	0.47	2.57	4.46	100	7.39
非鉄金属	36.78	42.11	6.35	0.57	1.43	12.76	21.11	100	4.7
金属製品	62.23	7.86	17.84	3.67	2.06	6.33	29.91	100	7.47
一般機器	54.88	18.66	8.81	3.77	1.03	12.85	26.45	100	4.66
電気機器(家庭用)	39.89	34.18	9.72	1.7	0.84	13.67	25.93	100	3.76
電気機器(産業用)	34.65	33.4	7.92	1.49	0.49	22.06	31.96	100	3.27
精密機器	32.99	32.88	17.58	1.82	0.82	13.92	34.14	100	5.66
物流用機器	67.64	9.32	8.83	0.77	3.53	9.91	23.04	100	4.01
輸送用機器	53.21	23.97	10.4	1.57	1.5	9.34	22.82	100	3.64
出版・印刷	43.94	34.47	7.42	1.64	4.01	8.52	21.59	100	5.65
その他製造業	51.88	14.18	14.35	4.07	3.34	12.18	33.94	100	5.45

図 4.6 総物流費に対する固定費の割合<sup>[4.5]</sup>

図 4.6 より、物流固定費 ( ;  $F$  ) と変動費 ( ;  $H$  ) の比率はおよそ

$$F : H = 15.39 : 84.61 \cdots \text{(式 5.5)}$$

$$F = (15.39 / 84.61) \times H \cdots \text{(式 5.6)}$$

である。

ここで本論では、表 3.1 より

固定費 = 直営デポ運営費用 (固定費) + サテライトデポ運営費用 (固定費)

となり、

$$F = \sum_{a \in A} F_a + \sum_{b \in B} F_b \cdots \text{(式 4.7)}$$

$$F_b = 0 \cdots \text{(式 4.8) (以下の『} F_B \text{』参照)}$$

よって、

$$F = \sum_{a \in A} F_a \text{ (式 4.9)}$$

$$\sum_{a \in A} F_a = (15.39 / 84.61) \times H \cdots \text{(式 4.10)}$$

となる。

また、表 3.1 より

変動費 = 輸送費用 + 直営デポ運営費用 (変動費) + サテライトデポ運営費用 (変動費)  
+ 新規パレット購入費

であるため、

$$\begin{aligned}
H = & \left( \begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} X_{pq} \times S_{pq} / X_{pq} \times Cost \\ & + \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} Y_{rp} \times S_{rp} / Y_{rp} \times Cost \\ & + \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} N_{dq} \times S_{dq} / N_{dq} \times Cost \end{aligned} \right) \\
& + \sum_{rc \in RC} D_{rc} \times \frac{\sum_{a \in A} P_a}{\sum_{a \in A} 1} \quad \dots \text{(式 4.11)} \\
& + L_b \times \left( \sum_{p \in P} X_{pb} + \sum_{r \in R} Y_{rb} + \sum_{d \in D} N_{db} \right) \\
& + CostN \times \left( \sum_{c \in C} D_c - \sum_{rc \in RC} D_{rc} \right)
\end{aligned}$$

となり、(式 5.9)、(式 5.10) より  $\sum_{a \in A} F_a$  は求まる。よって、

$$F_a = \frac{\sum_{a \in A} F_a}{\sum_{a \in A} 1} \quad \dots \text{(式 4.12)}$$

と単純に直営デポ  $A$  の数で均等させ  $F_a$  とする。

ここで、 $X_{pq}, Y_{rp}, N_{dq}, X_{pb}, Y_{rb}, N_{db}$

の決定変数は暫定  $F_a = 100,000,000$  とし、ダミー計算を行った結果を用いることにする。

## (2) サテライトデポに関する入力データ

『B』

ホームページ公開による 33 箇所とする。(沖縄は省く)

図 5.4 を参照

『 $I_b$ 』『 $O_b$ 』

共に、平均普通倉庫荷役料<sup>[4.6]</sup> はパレタイズ貨物で  $N$  (円/トン) であり、T 1 1 型木製パレット一枚あたりの重量を  $W_p$  (トン/枚) である。

(式 5.2) 参照

$$I_b, O_b = N \times W \quad \dots \text{(式 4.13)}$$

$$N = 740 \quad \dots \text{(式 4.14)}$$

式 (式 4.19) (式 4.20) により、入庫されたパレットは必ず出庫されるため、



荷役費  $L_b$  は

$$L_b = (I_b + O_b) / 2 \dots \text{(式 4.15)}$$

とする。また全サテライトデポは同値と仮定する。

『 $F_b$ 』

$$F_b = 0 \dots \text{(式 4.16)}$$

委託する際の契約料金ないし、固定料金であると考えられるが、各委託先業によって異なるため、算出不可能である。 $F_b$  も同様全サテライトデポは同値とする。

『 $V_b$ 』

$$V_b = \infty \dots \text{(式 4.17)}$$

各サテライトデポはおのおの個別の物流、倉庫業者に委託されているため、算出不可能である、そのため無限大とする。 $V_b$  も同様全サテライトデポは同値とする。

### (3) 貸し出し需要地に関する入力データ

『 $D_c$ 』

需要予測の各県の貸し出し需要枚数とする。発生は各県庁を代表地と仮定した。但し、沖縄は、東京都、東京に発生したものとする。また、年間企業稼働日数を 290 日とし、年間需要とした。

『 $D_{rc}$ 』

需要予測の各県の返却需要枚数とする。発生は各県庁を代表地と仮定した。ここで、各県均等に紛失すると仮定し、各県均等に回収率をかけた。但し、沖縄は、東京都、東京に発生したものとした。また、年間企業稼働日数を 290 日とし、年間需要とした。

『 $D$ 』

現実にパレットレンタル企業の購入先が様々であり、位置、数等は不明である。入力データとしては、東京、神奈川、愛知、大阪と比較的需要の多い位置に設定する。

『 $CostN$ 』

通常相場価格の 3500 [円/枚]<sup>[4.7]</sup> とする。

#### 4. 2 計算結果及び検討項目の抽出

以上の入力データ（初期設定）を用いて、計算した結果を示し、そこから考えられる検討項目を示す。

##### 4. 2. 1 計算結果

計算結果について以下の項目を見ていく。

- (1) 総費用
- (2) デポの立地及び輸送状況
- (3) 生産稼働率
- (4) 配送圏（テリトリー）

##### (1) 総費用

3. 2. 2で述べた式 3.12 から、表 4.3 を用いて表す。

表 4.3 初期値費用と構成費表

費用項目		値(円)	構成費(%)
総費用		24,023,800,000	100.00
輸送費	輸送費	13,826,700,000	57.55
	直営デポ(合計)	3,870,307,000	16.11
	変動費	370,297,000	1.54
	固定費	3,500,010,000	14.57
サテライトデポ(合計)	サテライトデポ(合計)	2,095,324,800	8.72
	変動費(荷役費)	2,095,324,800	8.72
	(契約基本料金)	0	0.00
	新規購入費	4,231,500,000	17.61

輸送費、新規購入費用が大きい比率を占めている。これにより、輸送費 [円/枚・km] に対し、直営デポ及びサテライトデポの固定費が安いことが分かる。



(2) デポの存続個数と直営デポの立地及び輸送状況

『デポの存続個数』

“直営デポ”

直営デポの存続は計算前の14ヶ所から計算結果では、12ヶ所となる。直営デポ（生産能力）が多い関東エリアの二つが消去された。図4.7を参照。

“サテライトデポ”

表 4.4 エリア分類表

エリア	都道府県
①北海道	北海道
②東北	青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島
③関東	東京、神奈川、埼玉、千葉、茨城、栃木、群馬、山梨
④北陸・信越	新潟、長野、富山、石川、福井
⑤東海	愛知、岐阜、静岡、三重
⑥近畿	大阪、兵庫、京都、滋賀、奈良、和歌山
⑦中国	鳥取、島根、岡山、広島、山口
⑧四国	徳島、香川、愛媛、高知
⑨九州	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮城、鹿児島

エリアの分類は表4.4とし、存続デポを以下の表5.5を用いて表す。

表 4.5 サテライトデポの存続数

エリア	計算前[ヶ所]	計算結果[ヶ所]
全国	33	22
①北海道	1	0
②東北	6	6
③関東	3	3
④北陸・信越	5	4
⑤東海	2	0
⑥近畿	4	1
⑦中国	3	3
⑧四国	4	2
⑨九州	5	3

サテライトデポは、直営デポから需要地までの距離が輸送可能距離（ $TMAX$ ）以下の場合には需要地に直送されるため消去されたことがわかる。

# 『直営デポの立地及び輸送状況』

直営デポの立地及び輸送状況を図 4.7、図 4.8、図 4.9 を用いて表す。

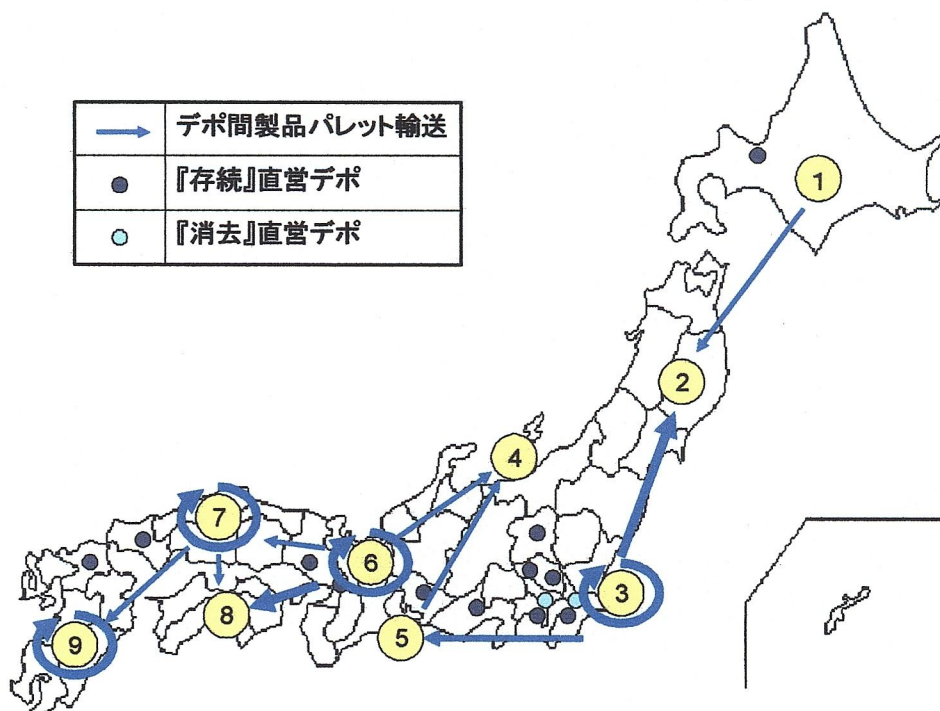


図 4.7 製品パレットデポ間輸送

図 5.7 は各都道府県をエリアにわけ、簡略化してある。エリア分類は表 5.5 を参照。

③関東地方に製品の供給がないため、直営デポは消去されていることが分かる。

⑤東海地方内で製品パレットのデポ間輸送がないのは、需要地と直営デポの距離が輸送可能距離（ $TMAX$ ）以下であるため、直接需要地に供給されているのが分かる。

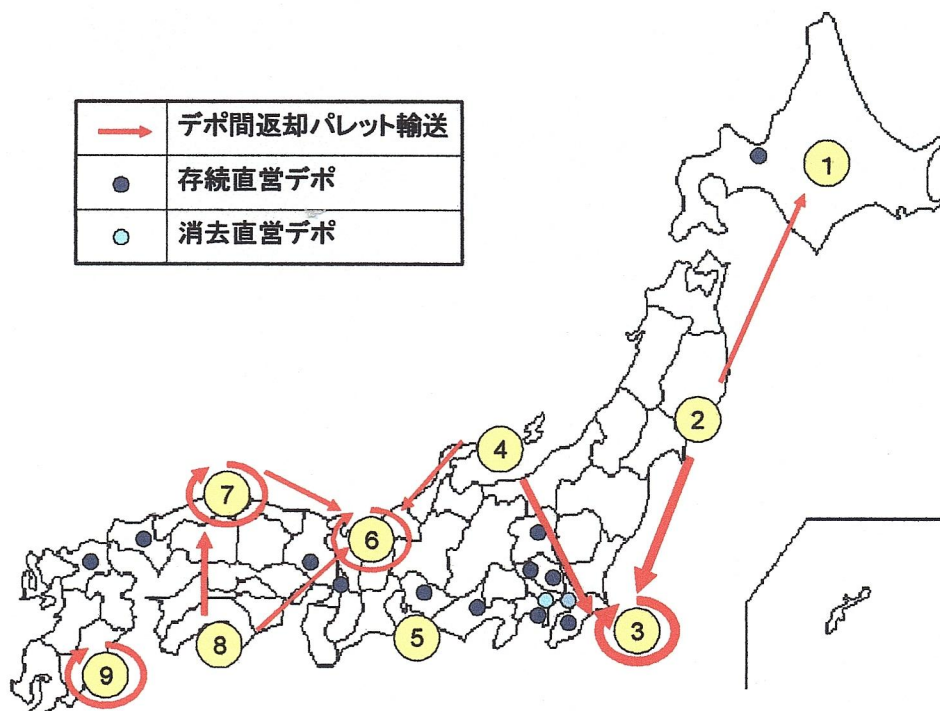


図 4.8 返却パレットデポ間輸送

返却パレットデポ間輸送も同様、図 4.8 で示しめし、図 4.8 は各都道府県をエリアにわけ、簡略化してある。エリア分類は表 4.5 を参照。②東北地方は製品パレットを供給された量をもとのエリアに返却している

⑤東海地方の直営デポはやはり地方内から返却を受けている。そのため、供給は図 4.7 で示したとおり関東地方から受けている

⑥九州地方も⑤東海地方と同様であるが、地方内デポ間輸送が存在するのは例えば福岡 - 鹿児島等直営デポから輸送可能距離（ $TMAX$ ）以上に返却需要地があるからである。ここでも輸送可能距離（ $TMAX$ ）が結果に与える影響があることがわかる。

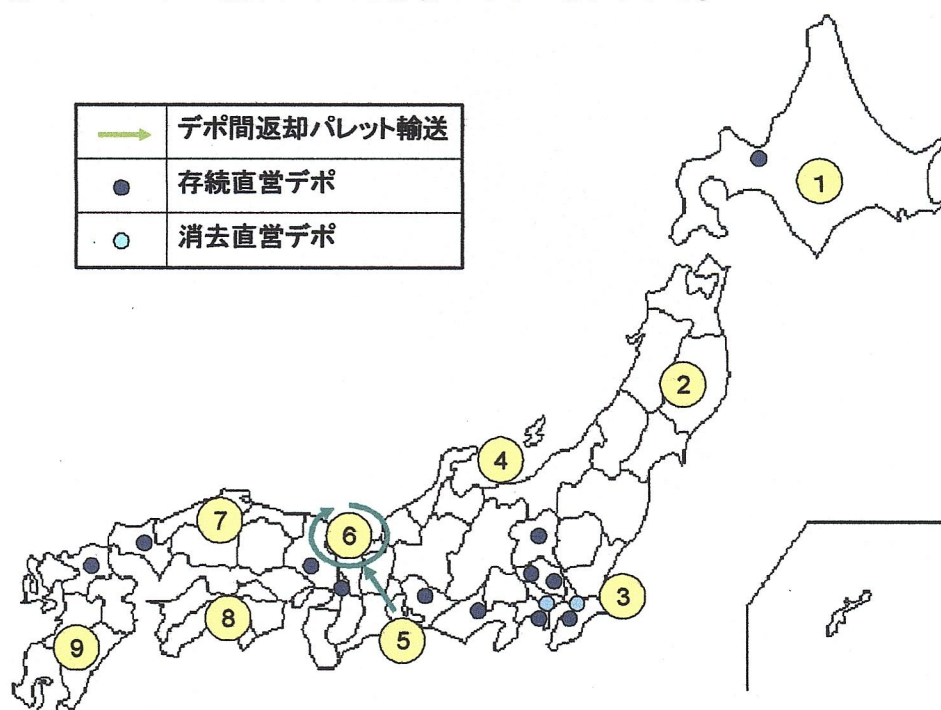


図 4.9 返却パレット輸送

図 4.9 はデポ間輸送ではなく新規製造工場と需要地間の新規パレット輸送を示しめしている。図 4.9 も同様各都道府県をエリアにわけ、簡略してある。

エリア分類は表 4.5 を参照。

本論の初期データ設定は、返却需要量に回収率をかけ、必ず紛失すると仮定してある。そのため、需要から返却の過程で新規パレットが注入されることが計算結果からも出る。そのため、モデルからもわかるように需要が変化しないかぎり常に一定の費用がかかる。

### (3) 生産稼働率

各直営デポの生産能力を表 4.6 に示す。

表 4.6 各直営デポの生産稼働率

都道府県	エリア	生産稼働率[%]
北海道	北海道	65.28
群馬	関東	90.83
埼玉	関東	89.36
埼玉	関東	99.16
千葉	関東	0.00
千葉	関東	51.01
神奈川	関東	0.00
神奈川	関東	56.81
愛知	東海	100.00
静岡	東海	35.28
大阪	近畿	100.00
兵庫	近畿	100.00
山口	中国	67.86
福岡	九州	100.00

生産稼働率の算出式は式 4.18 に示す。

$$kadouritsu = \frac{P_a}{PAMAX_a} \times 100 \quad (\text{式 4.18})$$

### (4) 配送圏 (テリトリー)

配送圏は、全直営デポ、全サテライトデポ、デポ全体における製品パレット、返却パレットの枚数による加重平均輸送距離とする。

『直営デポ』

①製品パレット [km] ; 96.79

②返却パレット [km] ; 94.43

『サテライトデポ』

③製品パレット [km] ; 32.68

④返却パレット [km] ; 37.60

『デポ全体』

⑤製品パレット [km] ; 82.12

⑥返却パレット [km] ; 81.29

以上のことから、大まかな配送圏がデポの種類ごとにどの程度あればよいかが分かる。

①～⑥の算出はそれぞれ (式 4.19) (式 4.20) (式 4.21) (式 4.22) (式 4.23) (式 4.24) に表す。

$$\textcircled{1} \quad ChokueiSeihin = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{q \in Q} (X_{AQ} \times S_{AQ})}{\sum_{a \in A} \sum_{p \in P} X_{AQ}} \quad (\text{式 4.19})$$

$$X_{AQ} > 0$$

$$\textcircled{2} \text{ChokueiHenkyaku} = \frac{\sum_{r \in R} \sum_{a \in A} (Y_{RA} \times S_{RA})}{\sum_{r \in R} \sum_{a \in A} Y_{RA}} \quad (\text{式 4.20})$$

$$Y_{RA} > 0$$

$$\textcircled{3} \text{SateraitoSeihin} = \frac{\sum_{b \in B} \sum_{q \in Q} (X_{BQ} \times S_{BQ})}{\sum_{b \in B} \sum_{q \in Q} X_{BQ}} \quad (\text{式 4.21})$$

$$X_{BQ} > 0$$

$$\textcircled{4} \text{SateraitoHenkyaku} = \frac{\sum_{r \in R} \sum_{b \in B} (Y_{RB} \times S_{RB})}{\sum_{r \in R} \sum_{b \in B} Y_{RB}} \quad (\text{式 4.22})$$

$$Y_{RB} > 0$$

$$\textcircled{5} \text{ZenDepoSeihin} = \frac{\sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} (X_{PQ} \times S_{PQ})}{\sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} X_{PQ}} \quad (\text{式 4.23})$$

$$X_{PQ} > 0$$

$$\textcircled{6} \text{ZenDepoHenkyaku} = \frac{\sum_{r \in R} \sum_{p \in P} (Y_{RP} \times S_{RP})}{\sum_{r \in R} \sum_{p \in P} Y_{RP}} \quad (\text{式 4.24})$$

$$Y_{RP} > 0$$

#### 4. 2. 2 検討項目の抽出

現状のパレットレンタルシステムにおいて運営改善を行う際に考えられる項目を以下に述べる。

##### 1) 短期的に実施されやすい検討項目

- ・在庫管理
- ・生産能力
- ・日々の輸・配送距離
- ・施設内レイアウト
- ・その他

##### 2) 長期的に実施されやすい検討項目

- ・施設の移転・増設
- ・需要の拡大
- ・その他

以上項目の中で比較的短期的で実施が容易であり、本論のモデルにおいても検討されやすい生産能力と日々の輸・配送について感度分析を行い、その結果を次の4. 3で述べる。

#### 4. 3 全デポの生産能力と限界輸送可能距離を変化させた場合の検討

##### 4. 3. 1 データ設定

###### (1) 全デポの生産能力を変化させた場合

生産計画として、本モデルでは直営デポの生産能力の変化にともなった結果を見て行く。  
変化の仮定は全直営デポの生産能力を 1.5、2、3 倍と $\infty$ とする。

###### (2) 輸送可能距離を変化させた場合

日々の輸・配送計画として、本モデルでは輸送可能距離の変化にともなった結果を見ていく。  
変化の仮定は輸送可能距離も同様に 1.5、2、3 倍と $\infty$ とする。

##### 4. 3. 2 計算結果と検討

###### (1) 全デポの生産能力を変化させた場合

全デポの生産能力を変化させた場合の結果を以下の項目について見て行く。

- ア) 存続デポ数
- イ) 総費用と費用構成
- ウ) 配送圏
- エ) 適切な生産能力

###### ア) 存続デポ数

存続デポ数の変化を表 4.7 で表す。

表 4.7 存続デポ数

生産能力倍率	直営デポ[ヶ所]	サテライトデポ[ヶ所]
初期データ	12	22
1.5倍	11	21
2倍	11	19
3倍	11	19
$\infty$	11	19

表 4.7 は直営デポ及びサテライトデポともに、数では変化は差ほど見られないことがわかる。

## イ) 配送圏

配送圏の変化を図 4.10 で表す。

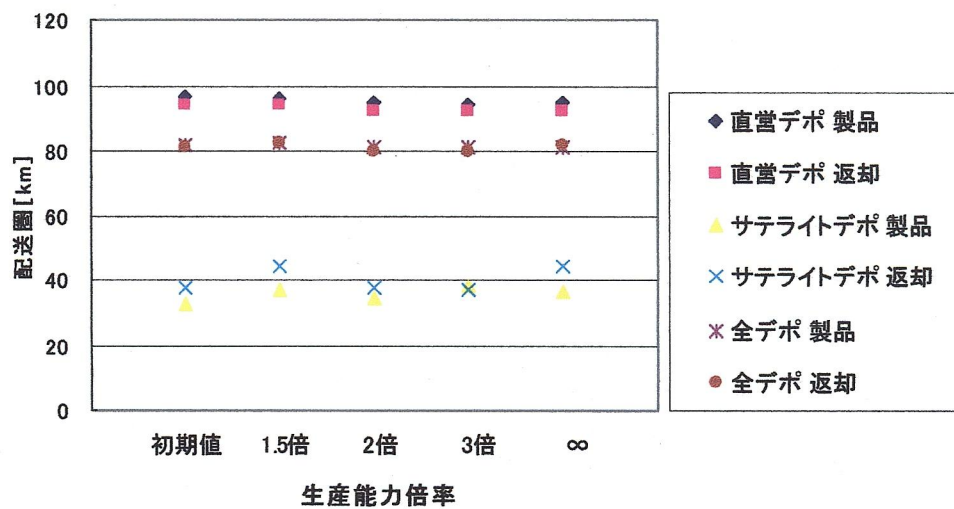


図 4.10 生産能力を変えた場合の配送圏の変化

図 4.10 から配送圏についても、直営デポ及びサテライトデポの数が変わらないため変化は見られないことがわかる。

## ウ) 総費用と費用構成

総費用と費用構成比の変化を図 4.11 で表す。

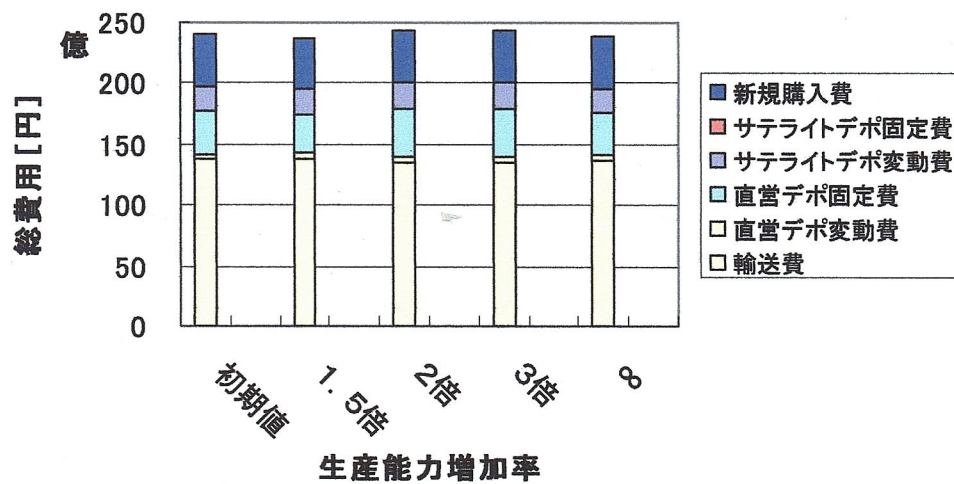


図 4.12 総費用と費用構成比の変化

総費用及び費用構成についても変化は差ほど見られない。



## エ) 生産能力の規模

生産能力を $\infty$ とするデータ設定から求められる生産枚数 $P_d$ の値と初期データの生産能力限界 $PAMAX$ の値から、各直営デポが現状の生産能力に対し、どれほど生産すれば良いか、実績率(%)がわかる。算出結果は直営デポをエリアごとにまとめ、表 5.14 に示す。

表 4.8 エリアごとの実績率

エリア	実績率[%]
北海道	65.28
関東	52.79
東海	73.53
近畿	105.01
中国	61.99
九州	101.75

表 4.14 から分かるように、近畿エリア、九州エリアの保有率が 100%を超えてしまっていることが分かる。これは現状の生産能力に無理があることがわかる。また、関東エリア生産能力の配分は 52.79%と、消去される直営デポが関東である理由もわかる。

## (2) 輸送可能距離を変化させた場合

全デポの生産能力を変化させた場合の結果を以下の項目について見て行く。

- ア) 存続デポ数
- イ) 配送圏
- ウ) 費用と費用構成

## ア) 存続デポ数

存続デポ数を表 4.9 で表す。

表 4.9 輸送可能距離を変えた場合の存続デポ数の変化

生産能力倍率	直営デポ[ヶ所]	サテライトデポ[ヶ所]
初期データ	12	22
1.5倍	11	21
2倍	11	19
3倍	11	19
$\infty$	11	19

表 4.9 から輸送可能距離を伸ばすとともにサテライトデポは減少していくことが分かる。また、4. 1. 1 『TMAX』で設定した 230 km を考えると、230 km を超えるのは初期データ 125 km の 1.5 倍から 2 倍の間である。このことから、サテライトデポは輸送可能距離が約 208 km 程度可能であるならば、14~16 ヶ所ほどで良いことが分かる。

#### イ) 配送圏

配送圏の変化を図 4.12 で表す。

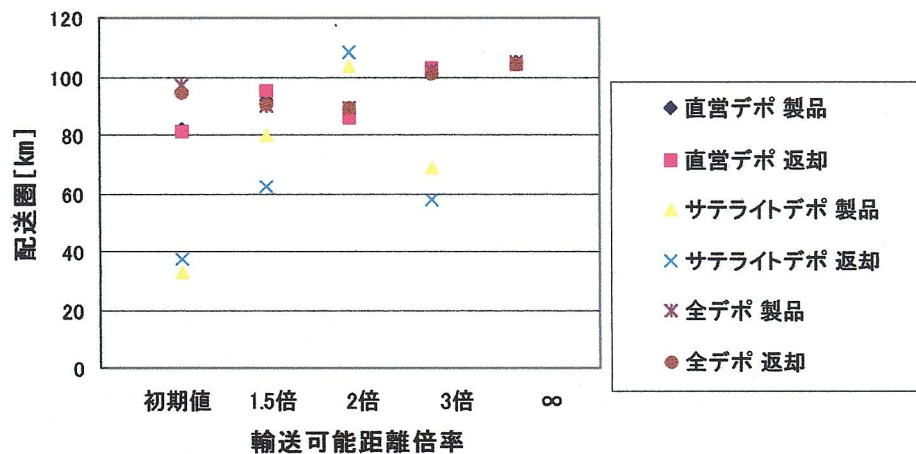


図 4.13 配送可能距離を変えた場合の配送圏の変化

図 4.13 から、2 倍のデータを入力したときに、配送圏の値が入れ変わる特徴があることがわかる。これは、サテライトデポが多数減少した分残されたサテライトデポの担当輸送が増えたことになる。次の 3 倍のデータでは減少しているが、直営デポの配送圏が増加した。これは、数多くの需要地が直営デポからの直接輸送に変わっているからだと考えられる。

#### ウ) 総費用と費用構成

総費用と費用構成費の変化を表 4.10 で表す。

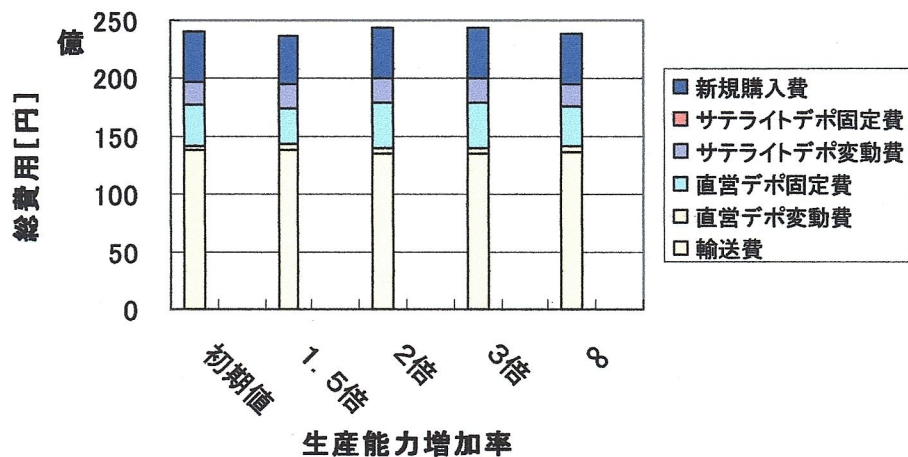


図 4.14 輸送可能距離を変化させた場合の総費用と費用構成の変化

図 4.14 から、総費用も費用構成も大きな変化はないことがわかる。しかし、費用構成のサテライトデポの変動費はサテライトデポの減少と共に変化していることがわかる。

#### 4. 3. 3 感度分析の検討と新たな問題点

4. 3. 2で行った感度分析についてまとめると

(1) 全デポの生産能力を変化させた場合

- ・ア) 存続デポ数、イ) 総費用と費用構成、ウ) 配送圏については差ほど変化しないことがわかった。
- ・エ) 直営デポの規模に関しては、各直営デポないしエリアの保有すべき生産能力の目安を提示できることがわかった。

## (2) 輸送可能距離を変化させた場合

- ・輸送可能距離の設定がサテライトデポの数に大きく影響することがわかった。
- ・総費用に関しては差ほど変化しないことがわかった。

以上の(1)(2)の結果から差ほど総費用は変化しないが、どちらが総費用に対し有効であるかを比較してみる。

表 4.10 生産能力と輸送可能距離を変化させた場合の総費用

	生産(%)	輸送(%)
基準値	100.00	100.00
1.5倍	98.90	95.75
2倍	98.70	95.16
3倍	98.70	90.36
∞	98.70	89.38

生産能力の向上よりも輸送可能距離の延長は望ましいと考えられるが、輸送可能距離の3倍375kmは初期設定の230kmを大幅に超え総費用削減の有効な手段にはならない。

ここで、直営デポの生産能力の配分と需要のバランスを図 4.15 に表す。

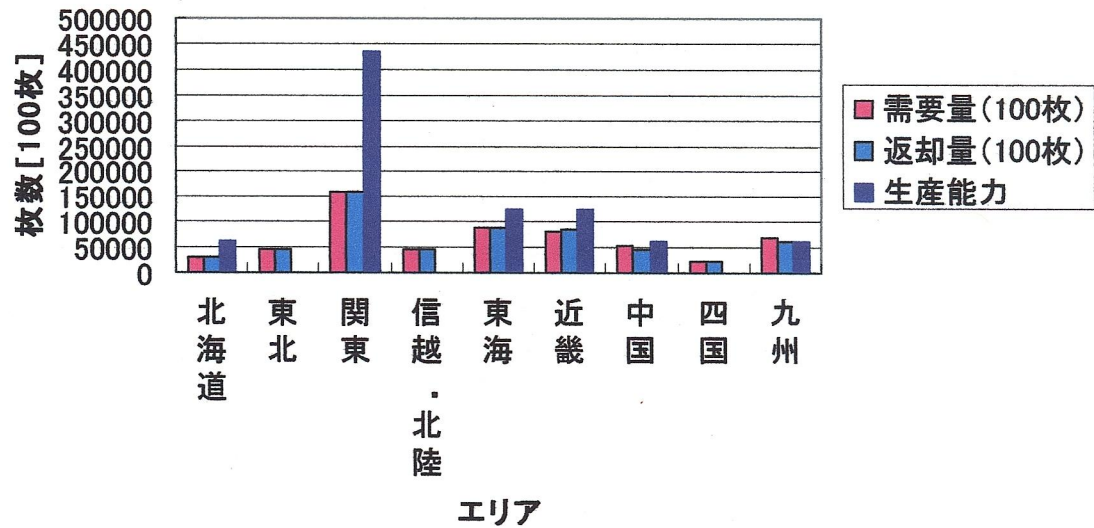


図 4.15 各エリアの生産能力と需要の関係

関東地方に、生産能力（直営デポ）が集中していることが分かる。この点から、東北エリアと信越・北陸エリアに供給ないし返却を行うことは、4. 2. 1（2）でも述べた。それは、関東 - 東北、関東 - 信越・北陸と長距離となる輸送は以前解決されないためサテライトデポを経由し、輸送費が大きくかかる。

そこで、比較的長期的で容易に実行されにくい、施設の移転をした場合を想定して直営デポの候補地を与えた検討を行う。

以上の事を踏まえて、次の4. 4では改善案を示す。

#### 4. 4 改善案の検討

##### 4. 4. 1 改善案の入力データ設定

4. 3. 1 の図 4.16 において、直営デポ（生産能力）を持たないエリア、東北、北陸・信越、四国に、既存の直営デポと同等の能力を持たせた直営デポを、1 ヵ所ずつ設置する。具体的な場所は、そのエリアを代表とする仙台、新潟、高知とした。図 4.18 に候補を与えた図を示す。但し、施設の移転・売却の際の費用は掛からないものとする。

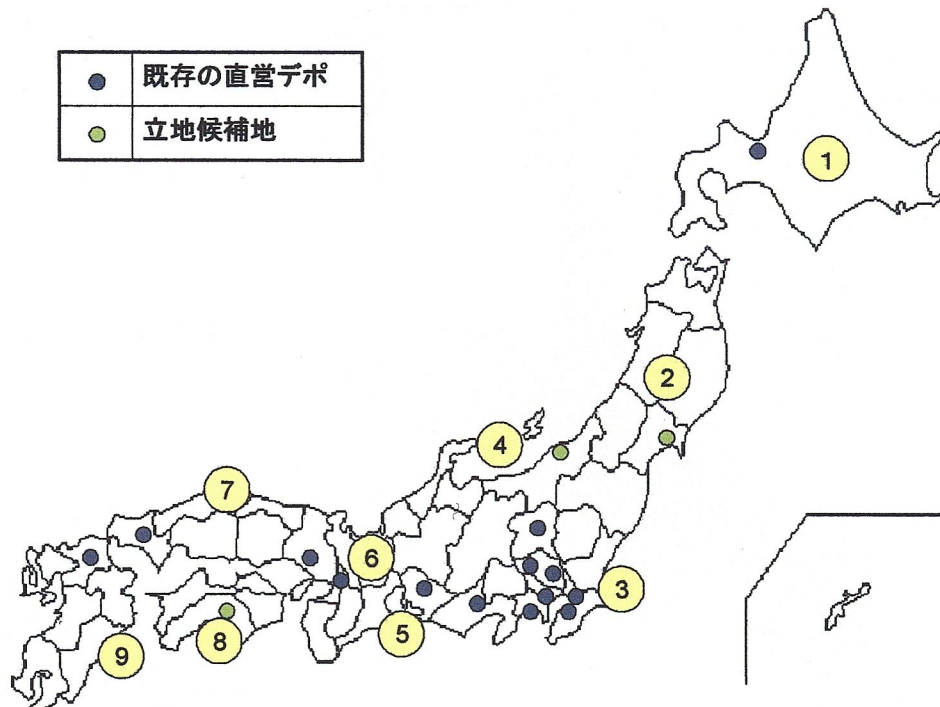


図 4.16 既存のデポと立地候補地

##### 4. 4. 2 改善案と初期データの計算結果の比較検討

以下の項目について比較検討を行う。

- (1) 総費用
- (2) デポの立地及び輸送状況
- (3) 生産稼働率
- (4) 配送圏

(1) 総費用

初期データと改善案の比較を表 4.11 に示す。

表 4.11 初期データと改善案の比較費用表

費用項目	初期データ		改善案	
	値(円)	構成費(%)	値(円)	構成費(%)
総費用	24,023,800,000	100.00	20,803,500,000	100.00
輸送費	13,826,700,000	57.55	10,690,200,000	51.39
直営デポ(合計)	3,870,307,000	16.11	4,453,647,000	21.41
変動費	370,297,000	1.54	370,297,000	1.78
固定費	3,500,010,000	14.57	4,083,350,000	19.63
サテライトデポ(合計)	2,095,324,800	8.72	1,428,220,000	6.87
変動費(荷役費)	2,095,324,800	8.72	1,428,220,000	6.87
(契約基本料金)	0	0.00	0	0.00
新規購入費	4,231,500,000	17.61	4,231,500,000	20.34

総費用は、初期データ、図 4.13、図 4.15 と比べ大幅に減少した。およそ 14%削減され、おもな要因は輸送費が 23%の減少である。これにより、直営デポ立地は需要地に近い方が良いことがわかる。

(2) デポの立地及び輸送状況

初期データの表は表 4.4、表 4.5 参照。

表 4.12 存続デポの立地数

生産可能距離倍率	直営デポ[ヶ所]	サテライトデポ[ヶ所]
初期データ	12	22
改善案	15	17

直営デポは立地候補地を加えた分増加し、サテライトデポは減少した。  
直営デポで消去されたのは、以前と関東エリアの直営デポである。サテライトデポは、直営デポが需要地に近づき、直接需要地に輸送できることにより減少した。  
輸送状況の変化を図 4.17、図 4.18、に示す。初期データの図は図 5.9 図 5.10 参照。

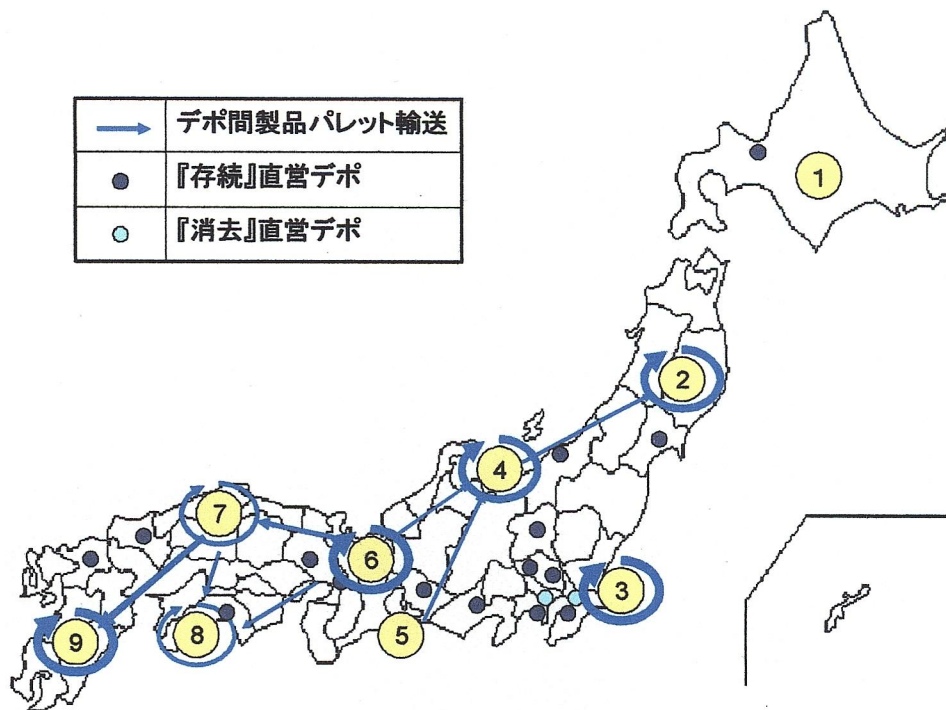


図 4.17 製品パレット輸送

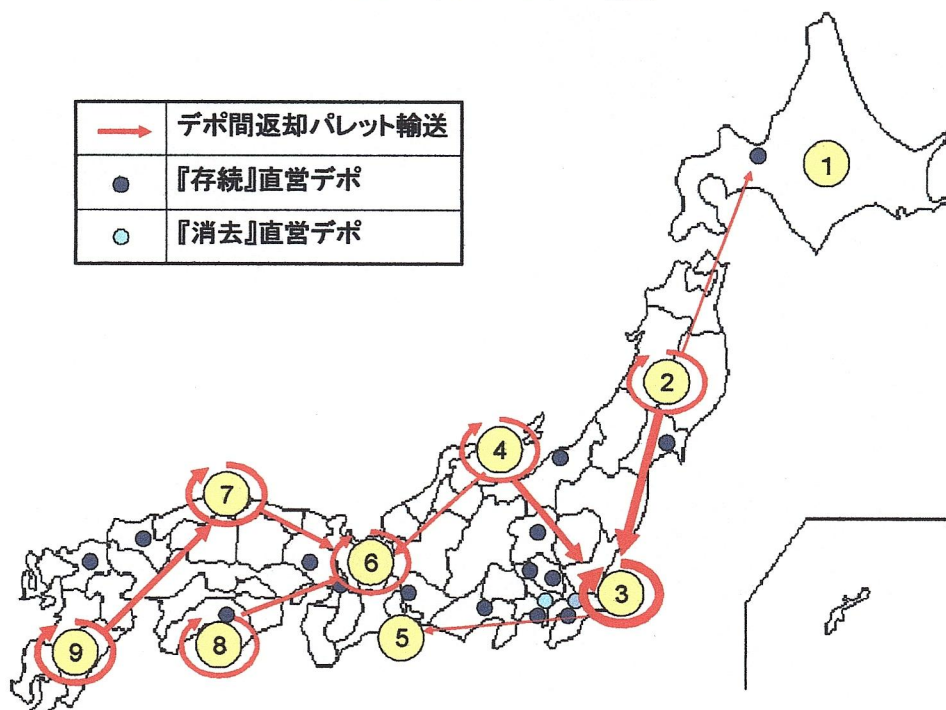


図 4.18 返却パレット輸送

初期データ比べ製品輸送、返却輸送ともにまとまった輸送となっている。返却輸送に関しては、貸し出し需要量が多いエリアに、原材料として比較的量の多い輸送を行っている。



### (3) 生産稼働率

初期データと改善案の生産稼働率を比較する。

初期データは表 4.6 を参照

表 4.13 改善案の生産稼働率

都道府県	生産量(100枚)	生産稼働率(%)
北海道	32568	52.53
宮城(候補地)	47083	75.94
群馬	51797	83.54
埼玉	0	0.00
埼玉	22922	36.97
千葉	38560	62.19
千葉	27612	44.54
神奈川	0	0.00
神奈川	35225	56.81
新潟(候補地)	24758	39.93
愛知	62000	100.00
静岡	21874	35.28
大阪	62000	100.00
兵庫	56341	90.87
山口	34539	55.71
高知(候補地)	13196	21.28
福岡	62000	100.00

初期データと比べ、以前と愛知、大阪、福岡と稼働率は 100%である。これは、図 5.17 からわかるように、そのエリア間で、返却需要量に対し生産能力の余裕がないことが原因である。

### (4) 配送圏

配送圏の比較を表 4.14 で示す。

表 4.14 初期データと改善案の比較

	初期データ	改善案
直営デポ製品配送圏[km]	96.8	73.6
全直営デポの返却回収圏[km]	94.4	73.3
全サテライトデポの製品配送圏[km]	32.7	30.8
全サテライトデポの返却回収圏[km]	37.6	32.6
全デポの製品回収圏[km]	82.1	66.6
全デポの返却回収圏[km]	81.3	66.5

このことから、配送圏が短くなり、初期データよりも比較的近所の輸送が短くなったといえる。また、製品及び返却輸送は短くなり、輸送費が低下したことも表している。

### 4. 4. 4 改善案の考察

初期設定の立地では、生産能力、輸送可能距離を変化させても有効な手段ではないことが分かった。新たな改善案として候補地を与え、初期設定よりも総費用は下がった。また、輸送費



用が、施設費用よりも高い場合は、直営デポを需要地の近くなること、つまり、需要の位置と量を的確に捉え、配分することが費用削減に有効である。

また、以前と生産稼働率の余裕がない直営デポが存在するため、需要の位置と量から、候補地を選定する検討も必要である。

#### 4. 5 輸送ネットワークについての検討

輸送費用が、施設費用よりも高い場合は、直営デポを需要地の近くなること、つまり、需要の位置と量を的確に捉え、配分することが費用削減に有効であることがわかった。計算結果として、輸送費の占める割合が多いため、さらに時間価値<sup>(4. 8)</sup>を用いて、集配のサービスについて検討を行う。これは、レンタルコスト（レンタルシステムにかかるコスト）と集配サービス（輸送時間、レスポンス）の総合評価を行うための検討である。時間価値の説明については式 3.12 に示したとおりである。

##### 4. 5. 1 モデル、データの設定

輸送について、時間価値の概念を用いて検討を行うため、式 3.15 の輸送可能距離の制約条件については、今回は使用しない。輸送については製品の輸送の時間価値が最小になるようなモデルとなるためである。

与える時間価値の値は 0,5,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,200,500 の場合である。

##### 4. 5. 2 計算結果

計算結果について以下の項目を見ていく。

- (1) 製品の平均輸送距離
- (2) 直営デポ、サテライデポの取扱量
- (3) 総費用

(1) 製品の平均輸送距離

製品の平均輸送距離をまとめたものについて図 4.19 に示す。

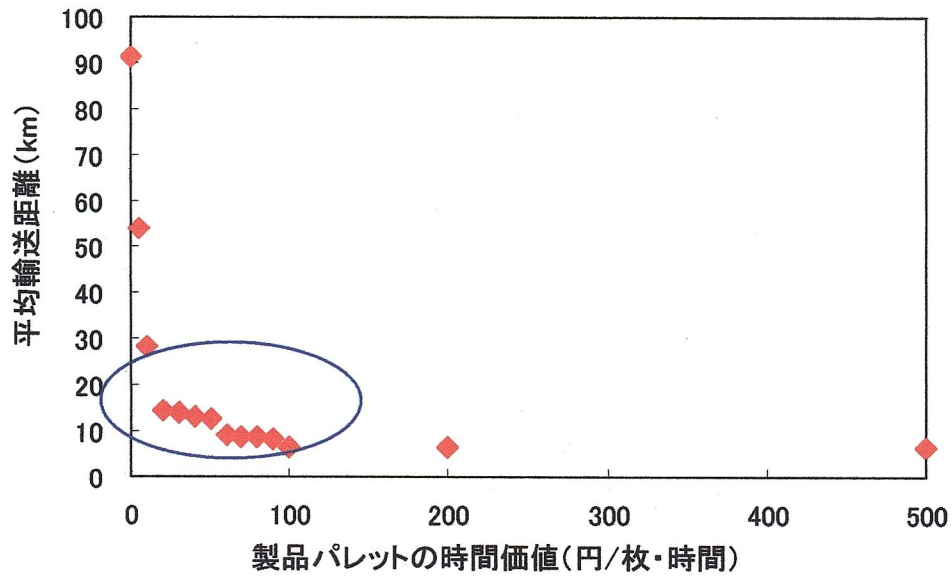


図 4.19 製品パレットの平均輸送距離

図 4.19 からわかるように、時間価値の値が 5 円でも、平均輸送距離は時間価値 0 円の時よりも平均輸送距離が半分となることがわかる。時間価値の値が 30 にもなると平均輸送距離は非常に縮まることがわかる。

## (2) 直営デポ、サテライトデポの取扱量

直営デポ、サテライトでポノ取扱量を図 4.20、図 4.21 に示す。

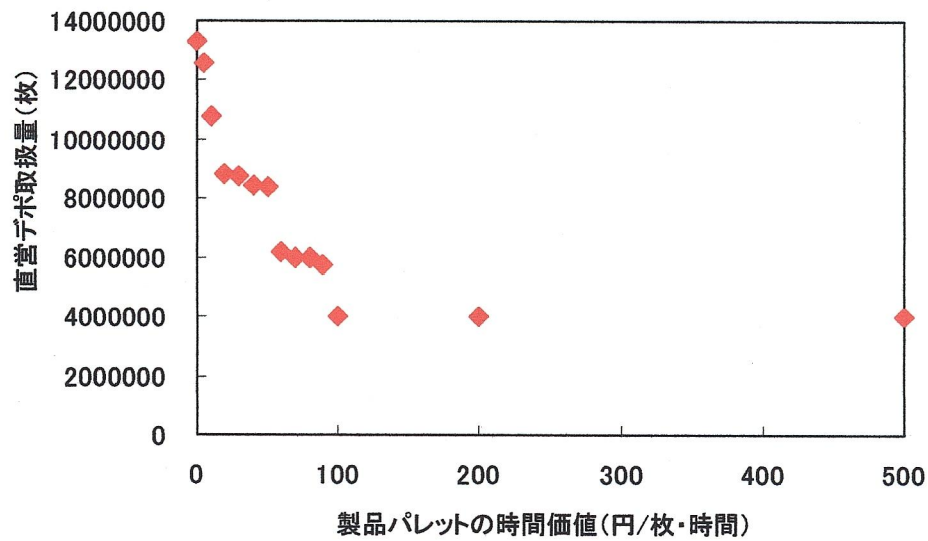


図 4.20 直営デポの取扱量

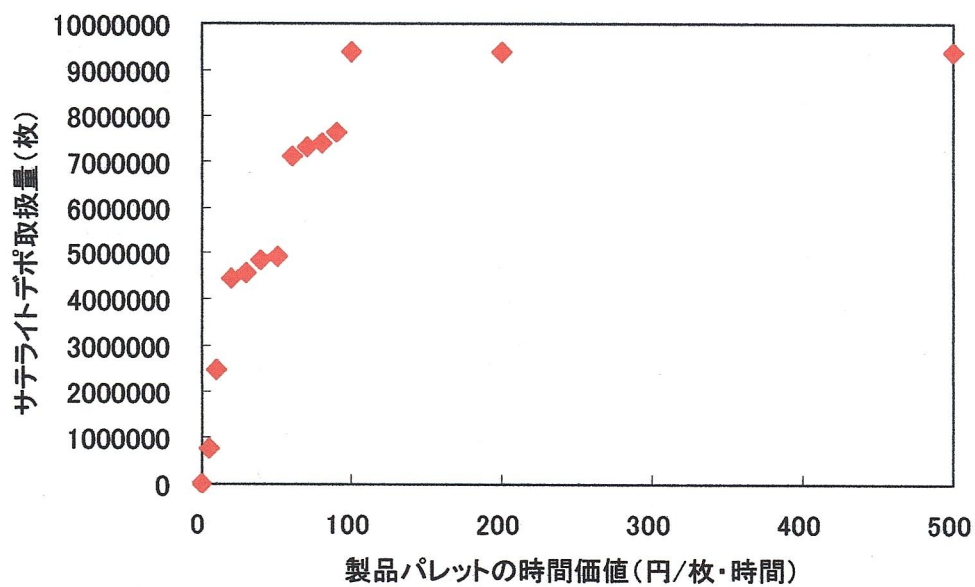


図 4.21 サテライトデポの取扱量

図 4.20、図 4.21 から、時間価値の値が増えると直営デポの取扱量が減少し、サテライトデポの取扱量が増加することがわかる。これは、ユーザに対して、すばやいレスポンスを行うために、需要地の近くに拠点を設置していることがわかる。

### (3) 総費用

総費用についてまとめたものを図 4.22 に示す。

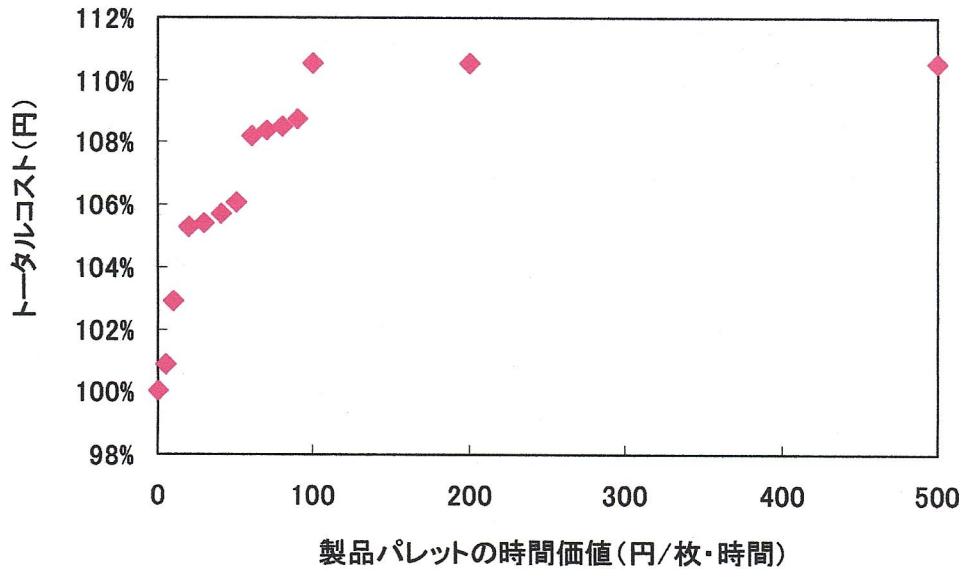


図 4.22 総費用

図 4.22 からわかるように総費用については、時間価値の値が増加するとコストも増加傾向にあることがわかる。これはユーザにたいして、すばやいレスポンスを行うために、サテライトデポを需要地の近くに設置しているために、サテライトデポの費用が総費用に大きな影響を与えていることがわかる。

#### 4. 5. 3 検討結果の考察

時間価値をといて、レンタルコストと集配のサービスの総合評価を行うことで、需要地と拠点の近接性が重要であることがわかった。時間価値の値が 30 にもなるとぐっと平均輸送距離が縮まり、需要地の近くにデポを設けるといった形態になることがわかった。

#### 4. まとめ

3. 2で構築した複数デポのモデルに入力データをあたえ、結果を提示した。その結果から新たな検討項目として短期的で比較的实施が容易である生産能力の向上と輸送距離の延長を感度分析として行いその結果を検討した。

本論のケースのように輸送費の割合が高い場合は生産能力の向上では総費用の削減は望めなかった。また、輸送可能距離を延長した場合は総費用の削減の見込みがあることがわかったが、現実を考慮した場合、輸送可能距離にも限度があり総費用削減に関して有効ではない。

そこで、改善案として長期的ではあるが施設の移転・増設をした場合について検討を行った。検討結果として、総費用は、短期的な検討項目よりも下がり総費用削減に有効である。また、長距離輸送が減り、配送圏にも余裕ができたといえる。

また、直営デポの生産稼働率に余裕を持たせるために、新たな立地候補地の位置と数を選出する必要がある。

また時間価値をとりいれてレンタルコストと集配サービスの総合評価を行うと、ユーザに対して素早いレスポンスを行うために、需要地と拠点の近接性が重要であることがわかった。

## 5. 結論

### 5. 1 まとめ

本研究では物流の効率化や作業環境の改善に資するものと期待されている一貫パレチゼーションを中心としたユニットロード化の促進を図るために、有効な手段の一つであるパレットレンタルシステムの運営改善を目指した。

①パレットレンタルシステムにおける複数デポの立地に関する検討を行うために、数理計画問題として、定式化を行った。

③この需要データと定式化によって表される施設立地計画モデルを現状のデポの立地状況に適応し、その有効性を示した。

③以下、施設立地計画モデルにより明らかになった点について列挙する。

- ・総費用に対し輸送費の割合が約60%と非常に高いことがわかり、候補地を需要地に近づけて設置した場合、総費用は現状より14%削減された。

このことより、本論のケースのように輸送費の割合が高い場合は、施設は需要地への近接性が重要であることがわかった。さらに既存の施設の移動・増設を考慮し再検討する必要もあることがわかった。

- ・現状の立地のまま生産能力の向上を行っても総費用への削減効果及び直営デポとサテライトデポの数の変化は見られなかった。

- ・現状の立地のまま輸送可能距離を向上した場合総費用は輸送可能距離に対し、約2.66ポイントの割合で減少していくことがわかった。

しかし、現実をより考慮し輸送可能距離を230 kmまでとすると、総費用に対し約5%しか削減を見込めなかった。

- ・また、輸送可能距離125 kmずつ増加するのに対し、サテライトデポの数が9ヵ所ずつ減少する傾向もわかった。

- ・時間価値を用いて、輸送ネットワークの検討を行うと、集配のサービスを考慮すると、需要地の近くに拠点が必要であることがわかった。

## 5. 2 今後の課題

今後の課題として以下の項目をあげる。

- ・需要の波動や保管量に対しても、拠点配置の検討を行うべきである。
- ・パレットレンタルの低廉化への対応ばかりでなく、ユーザーへのサービス水準を定量的に表現する必要がある。



## 謝辞

研究及び論文作成にあたりご指導のご鞭撻を頂きました、鶴田三郎先生、黒川久幸先生、風間富一に深くお礼を申し上げます。ならびに、研究の協力をしていただいた研究室のメンバーの土井義夫さん、浦塚律子さん、宋 震勇さん、中村文俊さんにも深くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 【1. 1】 森田朋子, 松山健太郎, 黒川久幸, 鶴田三郎: パレットレンタルデポの運営  
改 善に関する研究、日本物流学会第19回全国大会予稿集、p62、2002
- 【1. 2】 国土交通省: 総合物流施策大綱、<http://www.mlit.go.jp/>、2001
- 【1. 3】 坂井 健二: 一貫パレチゼーションの勧め、日本パレットレンタル株式会社、  
1996年
- 【1. 4】 中田信哉、橋本雅隆: 物流のしくみ、日本実業出版社、2001
- 【1. 5】 社団法人 日本物流団体連合会 パレット専門委員会: 一貫パレチゼーショ  
ン  
の普及推進に関する調査報告書〜パレットプール・レンタル普及拡大にむけ  
て  
〜、p 12.14.51、2001.3
- 【1. 6】 日本経済新聞: パレットレンタル料の低迷、需給緩和、企業、2002.5.22, 4.12
- 【1. 7】 日本海時新聞: 物流連、国交渉に要望書、総合／港湾・ロジスティクス、  
2002.5.21
- 【2. 1】 日本規格協会: JIS ハンドブック 62 物流 2001、p 14,704、2001
- 【2. 2】 阿保栄司編著: ロジスティックの基礎、税務経理協会、p 123〜124、1998
- 【2. 3】 日本パレットレンタル株式会社: ホームページ、<http://www.jpr.co.jp/>
- 【2. 4】 日本パレットレンタル株式会社: 営業用パンフレット
- 【2. 5】 日本パレットプール株式会社: ホームページ、<http://www.npp-web.co.jp/>
- 【3. 1】 森村英典、牧野都治、真壁肇、杉山高編者: 統計・OR 活用事典、p 186、  
208、東京書籍、1984年
- 【3. 2】 松山健太郎: パレットレンタルデポにおける生産計画に関する研究、東京商  
船  
大学学部論文、p22、2002
- 【3. 3】 (株) 数理計画システム: ホームページ、<http://www.msi.co.jp/>
- 【4. 1】 岡本学樹: 貨物運賃と各種料金表、交通日本支社、p 自動車 27、1998
- 【4. 2】 坂井 健二: 一貫パレチゼーションの勧め、日本パレットレンタル株式会社、  
p 資料 150、1996年
- 【4. 3】 貨物自動車運賃研究会編: 全国貨物自動車営業キロ程図
- 【4. 4】 物流問題研究会: 数字で見る物流 2002、(社) 日本物流団体連合会、p76、  
2002
- 【4. 5】 (社) 日本ロジスティクス協会: logistics データベース、ホームページ  
、<http://www.logistics.or.jp/jils/sokei.html>、2002.10.1
- 【4. 6】 カーゴニュース: 主要荷主の運賃・倉庫料金の実態、カーゴニュース、p391、  
1998.10.7
- 【4. 7】 古川電工株式会社: ホームページ、<http://www.furukawa.co.jp/index.html>
- 【4. 8】 黒川久幸, 松浦伸枝, 鶴田三郎, 風間富一, "時間価値分析による船舶へのモーダ  
ルシフトについての検討", 日本造船学会春季講演論文前刷第2分  
冊, pp.405-411, 2001.5